



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, TERCERA COHORTE

**“CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR DE LAS EDIFICACIONES RESIDENCIALES
URBANAS DE LA CIUDAD DE CUENCA:
DETERMINACIÓN DE ESTÁNDARES DE CONFORT”**

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
“MAGISTER EN CONSTRUCCIONES”

AUTOR: David Alberto Bustillos Yaguana. C.I. 1103862973

DIRECTOR: Juan Felipe Quesada Molina. C.I. 0102260148

CUENCA - ECUADOR

2017

Calidad del Ambiente Interior de las Edificaciones Residenciales Urbanas de la Ciudad de Cuenca: Determinación de Estándares de Confort.

David Albero Bustillos Yaguana.

Afiliación: Maestría en Construcciones – Tercera Cohorte. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

david.bustillos@ucuenca.ec / db.arq@hotmail.com.

Felipe Quesada Molina.

Afiliación: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. felipe.quesada@ucuenca.edu.ec

Resumen

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis de los estándares de confort del ambiente interior de las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca tomando en cuenta los factores de temperatura, calidad del aire, iluminación natural y aislamiento acústico. Se emplea un método mixto (cualitativo y cuantitativo) no experimental de diseño longitudinal para la evaluación de las mediciones físicas y percepción de los ocupantes acerca de sus experiencias de confort. En primera instancia se realiza un análisis general de las condiciones del ambiente interior de 280 hogares en la ciudad y en una segunda etapa se efectúa el monitoreo de las variables ambientales y físicas en ocho viviendas, así como la cuantificación de las percepciones subjetivas que tienen los usuarios. Los estándares establecidos en las normas internacionales son valorados según la respuesta de los ocupantes en cuanto a su satisfacción y por medio de un análisis comparativo se definen rangos de confort adaptados a las condiciones ambientales, a las expectativas y las exigencias socio-culturales locales. El rango de confort térmico se determina a través de un análisis de regresión entre los votos de sensación térmica y la temperatura interior; la calidad del aire se evalúa en la concentración de CO₂; el confort visual se analiza según los niveles de iluminación natural y el confort auditivo por medio de las características de aislamiento acústico de los muros de la vivienda.

Palabras claves

Confort higrotérmico; Calidad del aire interior; Confort visual, Confort auditivo.

Abstract

This research has been developed in order to analyze the comfort standards of the indoor environment of the urban houses located at Cuenca and considered some factors as temperature, air quality, natural lightning and acoustic isolation. It performed a longitudinal design that applied a combination of non-experimental methods (qualitative and quantitative) to evaluate the physical measurements and occupants' perception of their comfort experiences. A general analysis of the indoor environmental conditions of 280 houses was completed in the first instance; a second stage included the quantification of the occupants' subjective perceptions and the measurement of the environmental and physical variables in 8 of those houses. The international standards are compared with the occupants' satisfaction responses in terms of their satisfaction and by means of a comparative analysis, comfort ranges are defined adapted to environmental conditions, expectations and local socio-cultural requirements. The thermal comfort range is determined through a regression analysis between the votes of thermal sensation and the interior temperature; the quality of the air is evaluated in the concentration of CO₂; visual comfort is analyzed according to the levels of natural lighting and acoustic comfort by means of the acoustic insulation characteristics of the walls of the house.

Keyword

Thermal comfort; Indoor air quality; Visual comfort; Acoustic comfort.



Índice

1. Introducción	1
1.1. Confort higrotérmico	1
1.2. Calidad del aire interior	2
1.3. Confort visual	2
1.4. Confort auditivo	2
2. Métodos y materiales	3
2.1. Metodología aplicada en el estudio	3
2.2. Materiales	4
2.3. Primera etapa	4
2.4. Segunda etapa	4
2.4.1. Mediciones cuantitativas	6
2.4.2. Entrevistas cualitativas	6
2.4.3. Levantamientos y simulaciones	6
2.5. Evaluación	7
3. Resultados	7
3.1. Encuesta general al sector residencial de Cuenca	7
3.2. Resultados del monitoreo de las viviendas	7
3.2.1. Confort higrotérmico	8
3.2.1.1. Temperatura	8
3.2.1.2. Humedad relativa	9
3.2.1.3. Percepción de confort térmico y sensación térmica	11
3.2.1.4. Temperatura y rango de confort térmico	11
3.2.2. Calidad de aire interior	12
3.2.2.1. Monitoreo ambiental	12
3.2.2.2. Percepción de confort de calidad del aire interior	13
3.2.3. Iluminación natural	13
3.2.3.1. Simulaciones	13
3.2.3.2. Percepción de confort de iluminación natural	14
3.2.4. Acústica	15
3.2.4.1. Aislamiento acústico	15
3.2.4.2. Percepción de confort acústico	15
4. Discusión	15
4.1. Confort térmico	16
4.2. Calidad del aire interior	16
4.3. Confort visual	17
4.4. Confort acústico	17
4.5. Definición de estrategias	17
5. Conclusiones	18
Referencias bibliográficas	18



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

David Alberto Bustillos Yaguana, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Calidad del Ambiente Interior de las Edificaciones Residenciales Urbanas de la Ciudad de Cuenca: Determinación de Estándares de Confort*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de enero de 2018.

David Alberto Bustillos Yaguana

C.I: 1103862973



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusula de Propiedad Intelectual

David Alberto Bustillos Yaguana, autor del trabajo de titulación “*Calidad del Ambiente Interior de las Edificaciones Residenciales Urbanas de la Ciudad de Cuenca: Determinación de Estándares de Confort*”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de enero de 2018



David Alberto Bustillos Yaguana

C.I: 1103862973

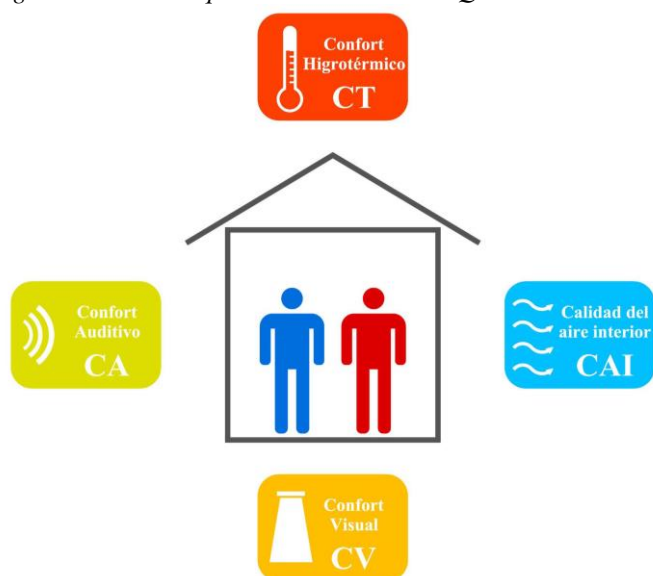
1. INTRODUCCIÓN

La importancia de obtener viviendas que cuenten con calidad de ambiente interior (IEQ) radica en sus efectos positivos sobre el confort de las personas (De Giuli, Da Pos y De Carli 2012). Se ha demostrado que los edificios con buena IEQ mejora la productividad y salud de los ocupantes y; que una percepción de IEQ deficitaria se relaciona directamente con el síndrome del edificio enfermo (Wong et al. 2009). Muchos factores perturban el bienestar y desempeño de los ocupantes; tales como la exposición a la naturaleza y a la luz del día, la calidad del aire, la temperatura, los olores, el ruido, la ergonomía, las oportunidades de reunión social, la relajación y el ejercicio (Prakash 2005).

Varios indicadores en diversos estudios demuestran la existencia de condiciones inadecuadas de IEQ en las viviendas del área urbana (INEC 2006), y otros resumen la percepción de los habitantes respecto a sus condiciones de vida dentro de la vivienda. En la provincia del Azuay hasta el 54.9% de la población se manifiesta afectada por al menos un problema ambiental en su entorno (INEC 2015). En la ciudad de Cuenca, se ha determinado que el 56% de la población estima que existe un mal o muy mal control de ruido y el 31% indica que el control de ruido es regular (Estrella et al. 2012). Estudios previos han demostrado que el 99% de los puntos de medición en la ciudad no cumplen o cumplen parcialmente los límites permisibles de ruido (IERSE 2012).

El confort de los ocupantes y la IEQ están estrechamente relacionados. La evaluación del ambiente interior incluye cuatro aspectos: *el confort higrotérmico (CT)*, *calidad del aire interior (CAI)*, *el confort visual (CV)* y *el confort auditivo (CA)* (Clausen y Wyon 2008; Lai et al. 2009). De estos criterios, CT es el elemento que predomina en relación a definir el nivel de calidad del ambiente interior, siendo el aspecto estudiado con mayor profundidad (Al horr et al. 2016).

Figura 1: Factores que intervienen en la IEQ.



1.1 Confort higrotérmico (CT). El CT se define como “la percepción de la satisfacción que experimenta un sujeto en un

determinado ambiente térmico” (ASHRAE 2004). La determinación del CT se fundamenta en los estudios de P. O. Fanger y su “ecuación de balance térmico” que determina el desequilibrio entre el flujo real de calor desde el cuerpo en un ambiente térmico dado y el flujo de calor requerido para neutralizarlo por un nivel de actividad particular (Fanger 1970). La satisfacción con el ambiente térmico es alcanzado cuando el cuerpo está en balance térmico, es decir, cuando realizando cierta actividad, no se experimenta un estrés térmico para corregir la energía que produce el cuerpo internamente, manifestado a través de la transpiración excesiva o escalofríos (Molina y Veas 2012).

Método Estático o Racional. Fanger determinó que para conseguir el estado de confort existen tres variables principales: vestimenta, metabolismo y ambiente (Fanger 1973). La ecuación de confort de Fanger es empleada para relacionar el confort térmico de un grupo de individuos a una escala de sensación térmica que va desde el nivel -3 (frío) a +3 (calor) como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de valoración térmica de Fanger.

Valor	Apreciación o “voto”	
3	Hot	Muy caliente
2	Warm	Caliente
1	Slightly warm	Ligeramente caliente
0	Neutral	Confortable
-1	Slightly cool	Ligeramente frío
-2	Cool	Frío
-3	Cold	Muy frío

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Esta teoría se basa en el análisis de variables ambientales tales como: la temperatura interior (°C), la temperatura exterior o radiante media (°C), humedad relativa (%) y velocidad del aire (m/s); y, variables personales, como el nivel de arropamiento (clo) y nivel de actividad o tasa metabólica (met). La temperatura interior y la velocidad del aire son los factores primarios que influyen en la sensación térmica humana (Singh, Mahapatra y Teller 2015).

El modelo permite determinar indicadores principales como el Voto Medio Previsto o Estimado (PMV) y Porcentaje Previsto de personas Insatisfechas (PPD). PMV predice la media de los votos de confort térmico dentro de un grupo grande de personas y PPD es una medida cuantitativa del número de personas térmicamente insatisfechas en un grupo en condiciones térmicas particulares tomando en cuenta un 5% de valor mínimo (Lai et al. 2009).

Método Adaptativo (MA). Como una evolución a la teoría de Fanger, este modelo toma en cuenta la interacción del usuario y su capacidad de adaptación al ambiente exterior (Nicol y Humphreys 2002). De Dear y Brager (1997) en una de sus investigaciones más importantes concluyeron que existe una tendencia a que la temperatura de neutralidad térmica (Tn) aumente a medida que la temperatura exterior aumenta; y que, ese aumento es mucho mayor en edificios ventilados naturalmente (De Dear y Brager 1997).



El análisis de la percepción subjetiva del confort térmico se la realiza por medio de la aplicación de una encuesta de aceptabilidad y preferencia en la escala de valoración térmica de 7 puntos de Fanger (Covarrubias 2012).

Diversos estudios han demostrado que aplicar enfoques que tomen en cuenta la capacidad adaptativa trae numerosas ventajas en determinar límites más cercanos a la aceptabilidad real de los usuarios; además, se ha llegado a la conclusión de que no se puede generalizar un estándar para el confort térmico (Auliciems 1981; De Dear y Brager 1997; Nicol y Humphreys 1998; Brager y De Dear 2001; Nicol 2004; Corgnati, Filippi y Viazzi 2007; Singh, Mahapatra y Teller 2015).

El análisis del confort térmico por el modelo PMV-PPD se encuentra en la norma EN ISO 7730 y los modelos de confort adaptativo son empleados por ASHRAE 55 en Estados Unidos y por EN 15251 en Europa. Estas normas son la base para otras locales que cuentan con rangos de confort fijos como RITE en España o NEC-11 en Ecuador.

La humedad, expresada como relativa o absoluta es un elemento que también condiciona la temperatura y la calidad del aire interior. Sin embargo, tiene una influencia bastante limitada en ambientes con temperaturas moderadas ($< 26^{\circ}\text{C}$) y niveles de actividad moderados (< 2 met) (ISO 2006). De igual manera, existen rangos máximos de velocidad del aire interior necesarios para que ésta no sea un aspecto determinante en la determinación de la temperatura de confort.

1.2 Calidad del aire interior (CAI). La medición y el análisis de la concentración de dióxido de carbono en interiores (CO_2) es un elemento útil para analizar la calidad del aire interior y de la eficacia de la ventilación (Persily 1997; Mui et al. 2008). Un nivel aceptable de CO_2 debe mantenerse por debajo de 1000 ppm o 650 ppm sobre el nivel del ambiente exterior con el fin de evitar cualquier acumulación de olores asociados al cuerpo humano. En términos de satisfacción de los ocupantes, calidad del aire aceptable significa que en el aire del ambiente no se encuentran contaminantes conocidos en los niveles de concentración nociva y por lo menos el 80% de las personas expuestas a ella no expresan su descontento (ASHRAE 2007).

1.3 Confort visual (CV). El confort visual del interior está relacionado principalmente con los niveles de iluminación, distribución espacial y la limitación del deslumbramiento. En cuanto a las mediciones físicas, la disponibilidad de luz solar directa es primordial (Gylling et al. 2011).

La adecuada luz natural se valora según el “factor luz día” (FLD) como una relación porcentual entre el nivel de iluminación natural sobre un plano horizontal interior sin obstrucciones y el nivel de iluminación natural exterior. Los niveles de iluminación se miden en “lux”.

En base a las normas y métodos de evaluación se establece un valor mínimo de FLD de 2% como adecuado para todos los espacios interiores de la vivienda y niveles iluminación mínimos de 50 – 300 lux para el área social y de 100 lux para los dormitorios (Brunsgaard et al. 2012; Quesada y Trebilcock 2015).

1.4 Confort auditivo (CA). Todos los sonidos que están distrayendo, molestando o perjudicando las actividades diarias tales como trabajo, descanso, estudio y entretenimiento son considerados como ruidos (Lai et al. 2009). La intensidad del sonido corresponde a la amplitud de la vibración acústica, la cual es medida en decibeles (dB). Informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los 50 dB como el límite nocturno superior deseable y de 60 dB el límite superior diurno.

Las características de aislamiento acústico de las viviendas son esenciales para evitar el ingreso de ruidos incómodos del exterior por lo que se considera índices de reducción acústica mínimos para los ruidos aéreos del exterior y niveles de presión acústica de impacto máximos para los ruidos de impacto según el método de evaluación propuesto por Quesada y Trebilcock (2015).

La Tabla 2 resume los valores y rangos óptimos establecidos en las normas internacionales y locales considerados para el análisis de los cuatro aspectos que intervienen en la IEQ.

Para el análisis de la IEQ han surgido diversos modelos que tratan de evaluar o medir diversos factores en base a las normas establecidas. Modelos como BREEAM, LEED, HK-HAZ, incorporan evaluaciones en relación a una serie de atributos de la IEQ, cada uno de los cuales aporta con puntos para contribuir con el resultado global (Kamaruzzaman et al. 2011).

Los métodos de evaluación sirven como instrumentos que proporcionan indicadores cuantitativos del desempeño y como herramientas de calificación para determinar el nivel de rendimiento de un edificio (Quesada 2014). Sin embargo, estos deben complementarse con los indicadores cualitativos para poder obtener una visión más clara y adaptada a nuestro medio. Existe el caso de edificios con certificación LEED en donde sus usuarios a pesar de estar convencidos de su potencial, han presentado quejas sobre la necesidad de ajuste en esta norma (Prakash 2005).

Varias investigaciones respecto a la IEQ han determinado la necesidad de adaptación o validación de los estándares internacionales al medio local puesto que las condiciones cambian según el lugar y el tiempo. Se ha demostrado que las personas de diferentes culturas manejan, valoran, mantienen condiciones interiores e interpretaciones de la comodidad muy diferentes (Chappells y Shove 2005). Es por ello que se vuelve indispensable la evaluación de las viviendas utilizando tanto las mediciones cuantitativas como las entrevistas cualitativas. La combinación de esta información proporciona una idea más completa y holística de la IEQ (Brunsgaard et al. 2012).

Este estudio se centra en la evaluación cualitativa y cuantitativa de los aspectos relevantes que intervienen en la IEQ de las viviendas urbanas de Cuenca con la finalidad de encontrar una correlación entre las percepciones subjetivas y los parámetros ambientales medidos para obtener respuesta a las inquietudes planteadas. ¿Cuáles son los estándares mínimos que deben cumplir las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca que garanticen un óptimo confort interior? ¿Los rangos establecidos en las normas nacionales e internacionales cumplen con las expectativas de confort interior de los usuarios locales?



Tabla 2: Resumen de estándares establecidos según normas internacionales y locales para cada aspecto que interviene en la IEQ: CT, CAI, CV, CA.

	Norma	Categoría	Valores
Confort Higrotérmico (CT)	PPD-PMV ISO 7730	20% PPD	Invierno: $T_n=22^{\circ}\text{C}$. ($\pm 3.5^{\circ}\text{C}$). Verano: $T_n=24^{\circ}\text{C}$. ($\pm 3.5^{\circ}\text{C}$)
		10% PPD	Invierno: $T_n=22^{\circ}\text{C}$. ($\pm 2.5^{\circ}\text{C}$). Verano: $T_n=24^{\circ}\text{C}$. ($\pm 2.5^{\circ}\text{C}$)
	ASHRAE 55 Adaptativa	20% PPD	Invierno: $T_n=22^{\circ}\text{C}$. ($\pm 3.5^{\circ}\text{C}$). Verano: $T_n=17.8^{\circ}\text{C} + 0.31T_m$ ($\pm 3.5^{\circ}\text{C}$).
		10% PPD	Invierno: $T_n=22^{\circ}\text{C}$. ($\pm 2.5^{\circ}\text{C}$). Verano: $T_n=17.8^{\circ}\text{C} + 0.31T_m$ ($\pm 2.5^{\circ}\text{C}$).
	EN 15251	20% PPD	$T_n= 18.8^{\circ}\text{C} + 0.33 \times T_{m7}$ ($\pm 3.0^{\circ}\text{C}$).
		10% PPD	$T_n= 18.8^{\circ}\text{C} + 0.33 \times T_{m7}$ ($\pm 2.0^{\circ}\text{C}$).
	RITE, 2007	Estándar	Invierno: $T_{\min}=20^{\circ}\text{C} - T_{\max}=23^{\circ}\text{C}$ / Verano: $T_{\min}=23^{\circ}\text{C} - T_{\max}=25^{\circ}\text{C}$
	NEC-11, 2011	Estándar	$T_{\min}=18^{\circ}\text{C} / T_{\max}=26^{\circ}\text{C}$
	EN ISO 7730, 2006	Estándar	HR 30 a 70%. Velocidad del aire 0 a 1 m/s
	RITE, 2007	Verano	Velocidad media del aire 0.18 a 0.24 m/s (máx.). HR 40 a 60%
Invierno		Velocidad media del aire 0.15 a 0.20 m/s (máx.). HR 40 a 50%	
NEC-11, 2011		Estándar	Velocidad del aire entre 0.05 y 0.15 m/s. HR entre 40 y 65%
Calidad del aire interior (CAI)	ASHRAE 62.1 2007	Estándar	Máx. 1000 ppm o 650 ppm sobre CO ₂ exterior. $\geq 80\%$ de satisfacción.
	EN 15251, 2007	I	350 ppm sobre CO ₂ exterior.
		II	500 ppm sobre CO ₂ exterior.
		III	800 ppm sobre CO ₂ exterior.
	UNE 100011, 1991	Estándar	Máximo 1000 ppm.
NEC-11, 2011	Estándar	Máximo 650 ppm de CO ₂	
Confort visual (CV)	UNE-EN-12464-1	Estándar	Niveles de iluminación: Salas de descanso 100 lux
	Quesada y Trebilcock, 2015	Estándar	FLD $\geq 2\%$ para cocina, sala-comedor y dormitorios
			Niveles de iluminación: sala-comedor 50-300 lux, dormitorios 100 lux.
	INEN 1152, 1984	Estándar	FLD: salas 0.625%, dormitorios 0.313%.
NEC-11, 2011	Estándar	FLD $\geq 3\%$ en plano de trabajo a 3m desde pared de ventana y 1m lateral	
Confort auditivo (CA)	OGUC, 2005	Estándar	Índice de reducción acústica mínima de 45 dB(A)
	OGUC, 2005	Estándar	Nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75 dB
		Mejor	Nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 65 dB

Nota: Referencias incluyen para CT (De Dear y Brager 2002; Olesen y Parsons 2002; ASHRAE 2004; Nicol y Humphreys 2010; Borgeson y Brager 2011; NEC-11 2011; RITE 2007; ISO 2002, 2006 ; EN 2007; ASHRAE 2013); para CAI (ASHRAE 2007; EN 2007; UNE 1991; NEC-11 2011); para CV (INEN 1984; UNE-EN 2003; NEC-11 2011; Quesada y Trebilcock 2015); para CA ((OGUC 2005; Quesada y Trebilcock 2015).

2. MÉTODOS Y MATERIALES

2.1 Metodología aplicada en el estudio

Se emplea un enfoque mixto en donde las condiciones físicas del ambiente interior de las viviendas son evaluadas empleando mediciones cuantitativas y la percepción de los ocupantes se analiza por medio de entrevistas cualitativas en relación a sus experiencias de confort. Este estudio se basa en investigaciones previas que asocian las entrevistas cualitativas y las medidas cuantitativas en un estudio comparativo (Gylling et al. 2011; Brungard et al. 2012). Metodologías semejantes de evaluación se emplean en el análisis de equipamientos mayores (Kamaruzzaman et al. 2011; Molina y Veas 2012).

El diseño metodológico es de tipo no experimental longitudinal. La investigación se la realizó por etapas, en la primera se analizaron las condiciones actuales del ambiente interior de 280 hogares en la ciudad y en la segunda etapa se realizó la medición de las variables ambientales y físicas en ocho viviendas, así como la cuantificación de las percepciones subjetivas que tienen los usuarios.

Los datos obtenidos son evaluados y empleados para definir los estándares de confort locales por medio de un estudio comparativo. Un resumen del esquema metodológico se indica en la Figura 2.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

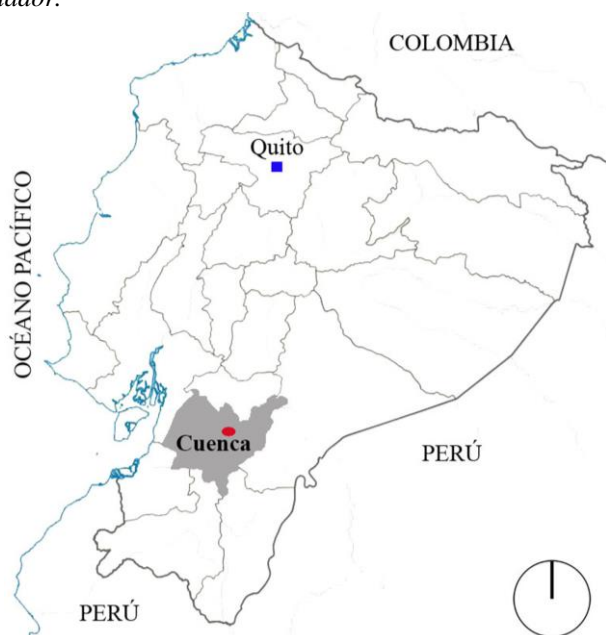
Figura 2: Esquema metodológico empleado en el presente estudio.

ETAPA	OBJETIVOS	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
1. ESTADO DE ARTE	Identificar y definir herramientas de medición y evaluación de IEQ en viviendas urbanas.	Revisión bibliográfica: - Artículos científicos - Estudios - Normativas - Métodos de evaluación ambiental	Metodología y herramientas a utilizar
2. CASOS DE ESTUDIO	Identificar las condiciones de la IEQ y percepción de los usuarios de las viviendas urbanas.	- Medición de variables ambientales y físicas. - Aplicación de encuestas / entrevistas. - Levantamientos y Simulaciones con software.	Situación actual de la IEQ en las viviendas urbanas
3. EVALUACIÓN	Definir los indicadores que intervienen en el confort interior de las viviendas urbanas.	- Aplicación de métodos de evaluación de Confort Interior. - Aplicación de normativa local e Internacional.	Indicadores de confort térmico, confort visual, confort auditivo y calidad del aire interior.
4. PROPUESTA	Proponer estándares que aseguren la IEQ en las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca	Estudio comparativo de condiciones físicas y percepción de usuarios.	Estándares de confort para las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca.

2.2 Materiales

El estudio se realizó en el área urbana residencial de la ciudad de Cuenca (Figura 3), ubicada al sur de la Sierra ecuatoriana a una altitud aproximada de 2538 msnm (metros sobre el nivel del mar). Las coordenadas geográficas de la ciudad son 2°53' de latitud Sur y 79°0' de longitud Oeste.

Figura 3: Ubicación geográfica de la ciudad de Cuenca - Ecuador.



La temperatura media anual es de 16.3°C, con una variación promedio entre 10.1°C a 21°C. El mes más caluroso del año es febrero con un promedio de 15.5°C, y el mes más frío es julio con un promedio de temperatura de 13.4°C (Climate-Data.org 2016). La humedad relativa oscila entre 40% y 85%, El promedio anual de precipitaciones es de 73 mm; el mes más seco es agosto con 13 mm; mientras que el mes de abril es el que tiene las mayores precipitaciones del año con un promedio de 118mm (INAMHI 2012, 2016).

2.3 Primera etapa

Como una etapa de aproximación a la problemática general existente en la Ciudad se aplicó la encuesta a los usuarios cabeza de hogar de 280 viviendas distribuidas en toda la zona urbana. El diseño del muestreo fue de tipo probabilístico y aleatorio de viviendas dentro de un universo conformado por las quince parroquias del sector urbano de la ciudad de Cuenca (Anexo 1).

Se estructuró una ficha con preguntas cerradas tomando como referencia estudios anteriores (Malmqvist 2008; MVCS 2013; Bayulken y Huisinigh 2015). Se aplicaron dos tipos de preguntas (Anexo 2). Las primeras enfocadas en la caracterización física de la vivienda y definición de indicadores de ocupación de los usuarios (tipología, antigüedad, tamaño, condiciones de habitabilidad, formas de uso y materiales).

Un segundo grupo de preguntas están relacionadas con la percepción de los usuarios respecto a su satisfacción con el ambiente interior, para lo cual se emplean escalas de satisfacción de 5 niveles (muy fría, algo fría, comfortable, algo calurosa y muy calurosa) y preguntas directas de percepción de confort más detalladas según el espacio y/o el tiempo, como por ejemplo: “¿Cree usted que necesita calefacción en su vivienda?” o “¿Qué espacios considera que son iluminados adecuadamente?”.

Este tipo de preguntas permitieron obtener datos cuantitativos sobre variables cualitativas de percepción de confort interior: temperatura, confort auditivo, calidad de aire e iluminación.

2.4 Segunda etapa

En la siguiente etapa se seleccionaron 8 viviendas unifamiliares como casos de estudio representativos aplicando criterios de selección referentes a la ubicación, tipología, sistema constructivo y nivel socioeconómico. Varias investigaciones relacionadas con el confort interior han empleado un número semejante de unidades de análisis (Brunsgaard et al. 2012; Molina y Veas 2012; Trebilcock et al. 2017).

El estudio de campo se lo realizó en dos épocas del año correspondientes a los meses de menor y mayor temperatura. Se realizó un análisis cuantitativo por medio de la monitorización y medición de variables ambientales y determinantes físicas; y, un segundo estudio cualitativo de percepción por medio de entrevistas a los usuarios acerca de sus experiencias con el ambiente interior.

Las viviendas seleccionadas ubicadas dentro del perímetro urbano (Figuras 4 y 5) son de uno o dos pisos y presentan



UNIVERSIDAD DE CUENCA

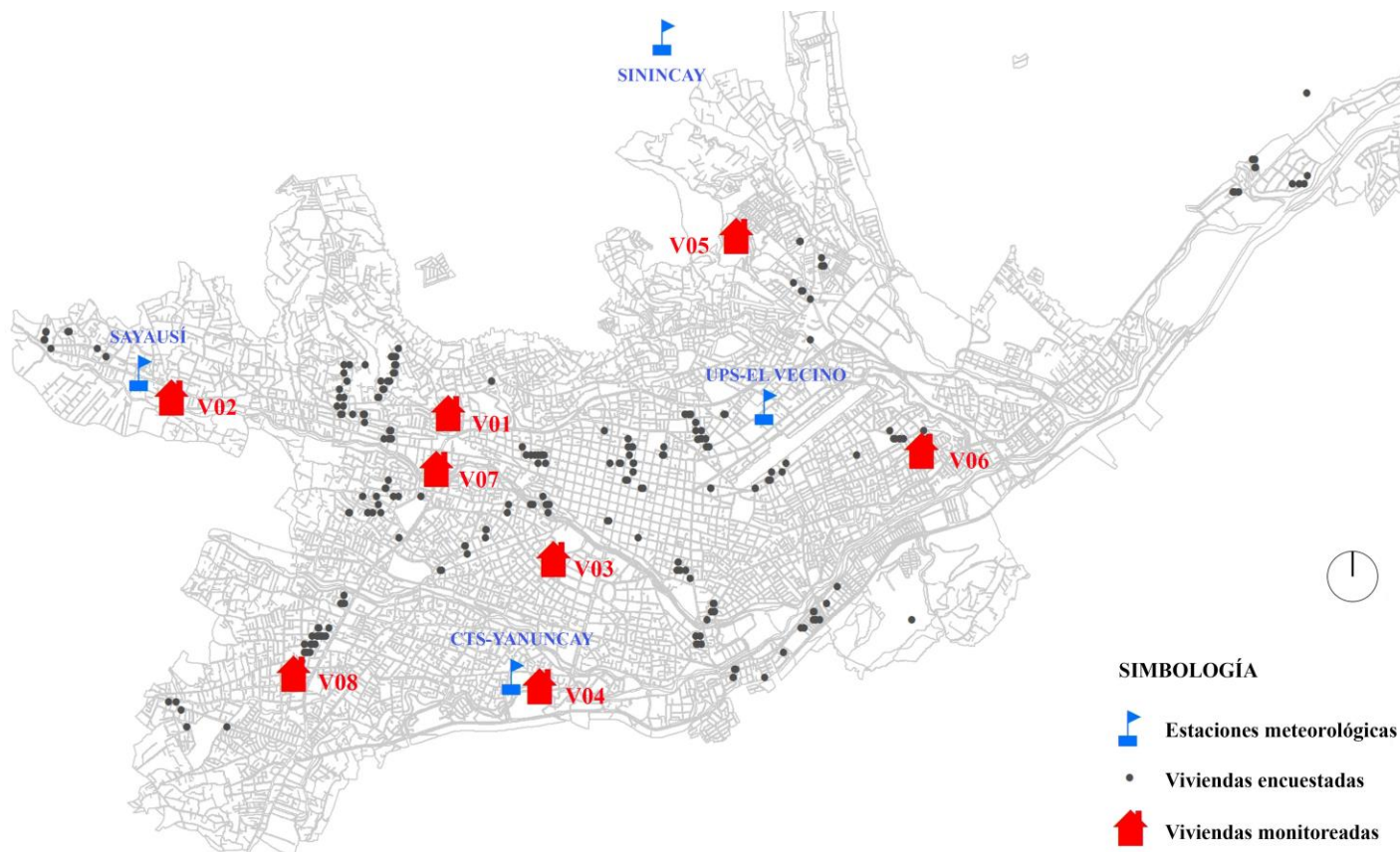
tipologías variables: adosadas un lado (3), adosadas dos o tres lados (2) y departamentos (4). Poseen las características constructivas predominantes de las viviendas urbanas locales:

estructura de hormigón armado y metálica, pisos cerámicos y de madera, cubierta de fibrocemento y teja; y, mampostería de ladrillo o bloque (Anexo 3).

Figura 4: Fachadas de las 8 viviendas monitoreadas en el perímetro urbano de la ciudad de Cuenca.



Figura 5: Distribución de las viviendas monitoreadas y estaciones meteorológicas en el perímetro urbano de la ciudad de Cuenca.



2.4.1 Mediciones cuantitativas. Se monitorearon las viviendas en dos períodos correspondientes a las épocas fría y calurosa del año (septiembre y octubre de 2015) - (febrero y marzo de 2016). Los valores obtenidos fueron recopilados en fichas de monitoreo ambiental para cada una de las casas según el período de registro (Anexos 4 y 5).

Se realizaron mediciones continuas cada 5 minutos durante una semana (7 días continuos). Se instalaron dos equipos por vivienda con los sensores ubicados en el centro del dormitorio principal y en el área social a una altura aproximada de 1.5m sobre el nivel del piso (Figura 6). Los equipos utilizados son los descritos en la Tabla 3.

Los parámetros de mediciones continuas fueron: temperatura, nivel de CO₂, humedad relativa y radiación solar. Los valores de la velocidad del aire interior se registraron con mediciones puntuales durante las visitas a las casas. Los valores de los parámetros del ambiente exterior: temperatura, humedad relativa y radiación solar se obtuvieron de estaciones meteorológicas distribuidas en diferentes áreas de la ciudad según su proximidad a la vivienda monitoreadas.

Figura 6: Equipos instalados en cada una de las 8 viviendas monitoreadas: (01) Sensores de temperatura, humedad relativa y dióxido de carbono. (02) Anemómetro. (03) Caja procesador.



Tabla 3: Características de equipos utilizados para monitoreo de las viviendas.

Instrumento	Características	Datos
Caja de integración con instalación (Procesador)	Marca: DataLights Modelo: DL-Logger2015-mR	-
Sensor de temperatura (Thermistor)	Marca: Apogee Modelo: ST-100	°C
Sensor de humedad relativa	Marca: Omega Modelo: HX71-V1	HR, %
Sensor de dióxido de carbono	Marca: Vernier Modelo: Carbon Dioxide Gas Sensor	CO ₂ , ppm
Piranómetro	Marca: Apogee Modelo: SP-212	Radiación W/m ²
Anemómetro	Marca: Kestrel Modelo: 4200	Velocidad del aire, m/s

2.4.2 Entrevistas cualitativas. Las experiencias subjetivas de los usuarios sobre el ambiente interior fueron recopiladas por medio de encuestas aplicadas a los jefes de hogar de las casas objeto de estudio en paralelo al monitoreo de datos físicos.

La encuesta estructurada (Anexos 6 y 7) contenía preguntas cerradas de opción múltiple y preguntas abiertas en donde el usuario podía expresar su opinión respecto a los temas analizados. Se basa en la encuesta empleada por el “CBE-Center for the Built Environment” de la Universidad de Berkeley-California (CBE 2015).

El cuestionario estuvo conformado por preguntas de percepción, evaluativas y preferenciales divididas en seis secciones: (i) información general; (ii) confort térmico; (iii) calidad del aire interior; (iv) iluminación; (v) calidad acústica; (vi) información de síntesis final.

Para el análisis del confort térmico se requirió de una entrevista adicional (Anexo 8) aplicada a todos los habitantes permanentes de las viviendas mayores de edad dentro de los dos períodos de monitorización continua. La encuesta es una traducción de “El Thermal Environment Point-In-Time Survey” de la norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2010.

El objetivo de esta encuesta adicional fue obtener indicadores de sensación térmica, tasa metabólica (met) y aislamiento por vestimenta (clo) a través de los cuadros establecidos en la misma norma para las “Tasas Metabólicas de las Tareas Típicas de Descanso” y “El Valor de Aislamiento de Ropa para Conjuntos Típicos y Prendas de Vestir” (Anexo 9). Con los resultados de cada entrevista se elaboraron fichas de confort térmico (Anexo 10).

2.4.3 Levantamientos y simulaciones. Por medio de los levantamientos arquitectónicos de las viviendas se calculó el porcentaje de abertura de ventanas y se identificó las propiedades de aislamiento acústicos de los muros.



Adicionalmente, se realizaron simulaciones de las viviendas a partir de su BIM utilizando el software de Diseño de Construcción Sustentable Ecotect Análisis de Autodesk versión 2011, basado en el Método de las Admitancias desarrollado por el Chatered Institute of Building Service Engineers con lo cual se obtuvieron los valores de “factor luz día” y niveles de iluminación usando puntos o grilla de análisis. Con los resultados de las simulaciones se elaboraron fichas para cada vivienda (Anexo 11).

2.5 Evaluación

2.5.1 Confort higrotérmico. Previo a la determinación de la temperatura de confort o temperatura neutra (T_n) se verifica el cumplimiento de los requerimientos establecidos en las normas para que pueda ser aplicable el método adaptativo. En la ISO 7730: actividad metabólica de 0.8 a 4 met, grado de vestimenta de 0 a 2 clo y temperatura seca del aire que oscile de 10 a 30°C. Para UNE-EN-15251 se deben cumplir con las condiciones de actividades sedentarias (1 a 1.3 met), fácil acceso a ventanas operables y que los ocupantes puedan adaptar libremente su vestimenta a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores.

Este enfoque trata de establecer la aceptabilidad real de los usuarios respecto a las condiciones térmicas de la vivienda como respuesta a su capacidad de adaptación. Con esta finalidad se realizaron las encuestas que proporcionan resultados respecto a la aceptabilidad y preferencia a través de la escala de 7 puntos de Fanger. Se calculó el MV (Voto Medio) como el promedio de los votos registrados por los usuarios en las diferentes viviendas y para determinar el porcentaje de personas insatisfechas (PI) se calculó el porcentaje de votos -3, -2, +2 y +3 para cada vivienda. La temperatura de confort (T_n) se determina por medio del análisis de regresión lineal entre el voto de sensación térmica de los usuarios (VST) y la temperatura del aire interior.

La humedad relativa se evalúa a través del cumplimiento de los niveles establecidos en las normas. En condiciones de temperatura no extremas es un factor casi imperceptible por los usuarios por lo que no influye de manera directa en la percepción de confort.

2.5.2 Calidad del aire interior. La calidad del aire se evaluó por medio del registro continuo de los valores de concentración de CO_2 en el área social y en el dormitorio principal. Estos valores son comparados con los índices de satisfacción obtenidos en las encuestas y los niveles máximos de concentración establecidos en las normas locales e internacionales (UNE 1991; EN 2007; ASHRAE 2007; NEC-11 2011).

2.5.3 Confort visual. Los factores que se analizaron son iluminación natural y control de deslumbramiento en base a los criterios de evaluación propuestos por Quesada y Trebilcock (2015) y que son factibles en el presente estudio. Los valores mínimos de FLD y niveles de iluminación establecidos en las normas se comparan con los obtenidos por medio de las simulaciones y con la percepción de confort de los usuarios.

2.5.4 Confort auditivo. Se realiza un análisis comparativo entre los valores subjetivos de percepción de los usuarios y las características acústicas de los muros y losas de las viviendas. Se

determinan los índices de reducción acústica de los elementos para evaluar el ruido transmitido por el aire y los niveles de presión acústica de impacto normalizado de las superficies horizontales continuas con otras viviendas. Estos valores se obtuvieron de la norma chilena (MINVU-DITEC 2014) adaptado a las características de los muros de cada caso de estudio.

Existieron limitaciones en el presente proyecto de investigación en cuanto a la falta de instrumentos para el registro de la presión acústica en el interior de las viviendas en relación al ruido exterior. Los periodos de mediciones se limitaron a 7 días en dos épocas del año por lo que no se puede afirmar con toda seguridad que las mismas condiciones se reproducen durante todo el tiempo. Las encuestas a los usuarios fueron realizadas durante las visitas a las viviendas por lo cual no fue posible el registro de la percepción en todos los períodos del día y de la noche. El empleo de un método mixto en el que intervienen respuestas subjetivas y el uso de diferentes referencias pudieron haber influido en la obtención de resultados o dado lugar a interpretaciones erróneas.

3. RESULTADOS

3.1. Encuesta general al sector residencial de Cuenca

De la aplicación de la encuesta general se determinaron características de uso relacionadas con el ambiente interior de las viviendas:

- El 65.6% utiliza las ventanas como herramienta de ventilación de la vivienda, y el 33.1% utiliza las puertas.
- El 92.5% de los usuarios abren las cortinas para aprovechar la luz natural.
- El 98% de las viviendas no dispone de sistema alguno de calefacción y el 88% de los usuarios considera que no es necesario algún sistema de calefacción.

Sobre la percepción de confort se tiene que:

- El 65% de los usuarios considera que la temperatura interior es confortable. De los votos no confortables se identificó que la mayoría se desplazan hacia el lado más frío.
- La calidad del aire interior de las viviendas presenta buenos resultados subjetivos, ya que el 80% de los usuarios no perciben malos olores ocasionados por contaminación o falta de ventilación.
- La calidad acústica se encuentra afectada por el insuficiente aislamiento acústico de las viviendas; en donde los ruidos hacia el exterior y entre departamentos son percibidos de manera inconfortable por el 38% y 28% de los usuarios respectivamente.
- Sobre la calidad de iluminación natural de las viviendas, el 41% de los usuarios considera que todos los espacios de la vivienda no cumplen sus expectativas de iluminación natural.

3.2. Resultados del monitoreo de las viviendas.

A continuación se presentan los resultados del estudio comparativo utilizando los análisis cuantitativos y cualitativos.



3.2.1. Confort higrotérmico

3.2.1.1. Temperatura. Según los registros de la temperatura interior durante el primer período de monitoreo (Figura 7), las viviendas mantienen temperaturas interiores mayores en relación a las temperaturas exteriores; la temperatura interior presenta mínimos de 14 °C y máximos de 29 °C; en cambio, los valores de la temperatura exterior oscilan entre los 5°C y los 24°C.

Las viviendas 7 y 8 son las que mejor comportamiento térmico presentan ya que las variaciones son mínimas. Por

espacios, el área social de las viviendas 6, 7 y 8; y el dormitorio principal de las viviendas 2, 7 y 8 mantienen una temperatura constante a pesar de las variaciones de temperatura exterior.

Los registros del segundo período de monitoreo (Figura 8) mantienen rangos y variaciones semejantes a los obtenidos en el primero con un ligero aumento aproximado de temperatura de 1°C tanto en el interior como en el exterior de las viviendas. Las viviendas 7 y 8 nuevamente presentan la menor variación de temperatura interior, alrededor de los 19°C y junto al dormitorio de la vivienda 2 y al área social de la vivienda 6 tienen las mejores condiciones de estabilidad térmica (Anexo 12).

Figura 7: Temperatura del área social, dormitorio principal y temperatura exterior de las 8 viviendas - 1° período de monitoreo.

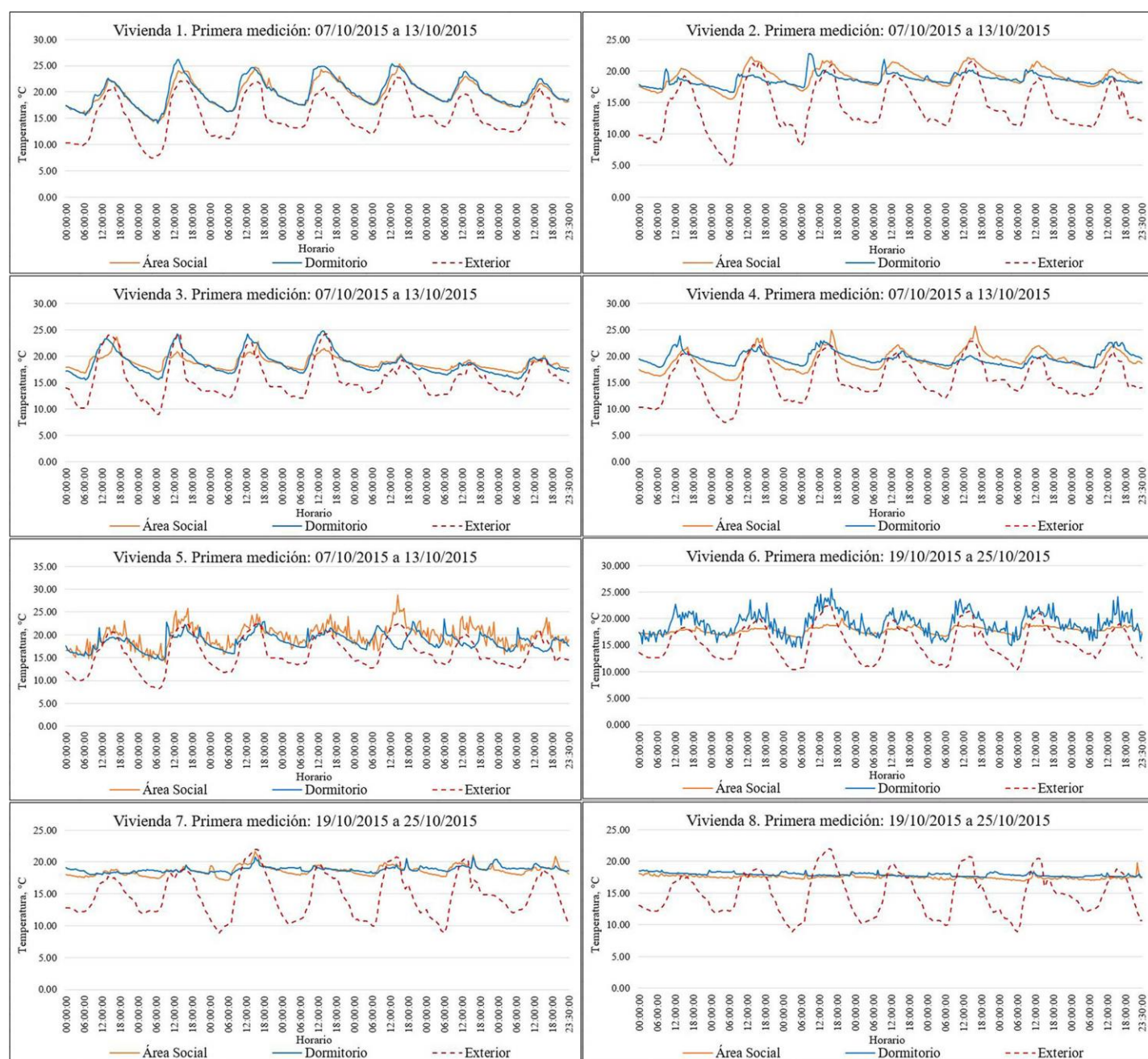
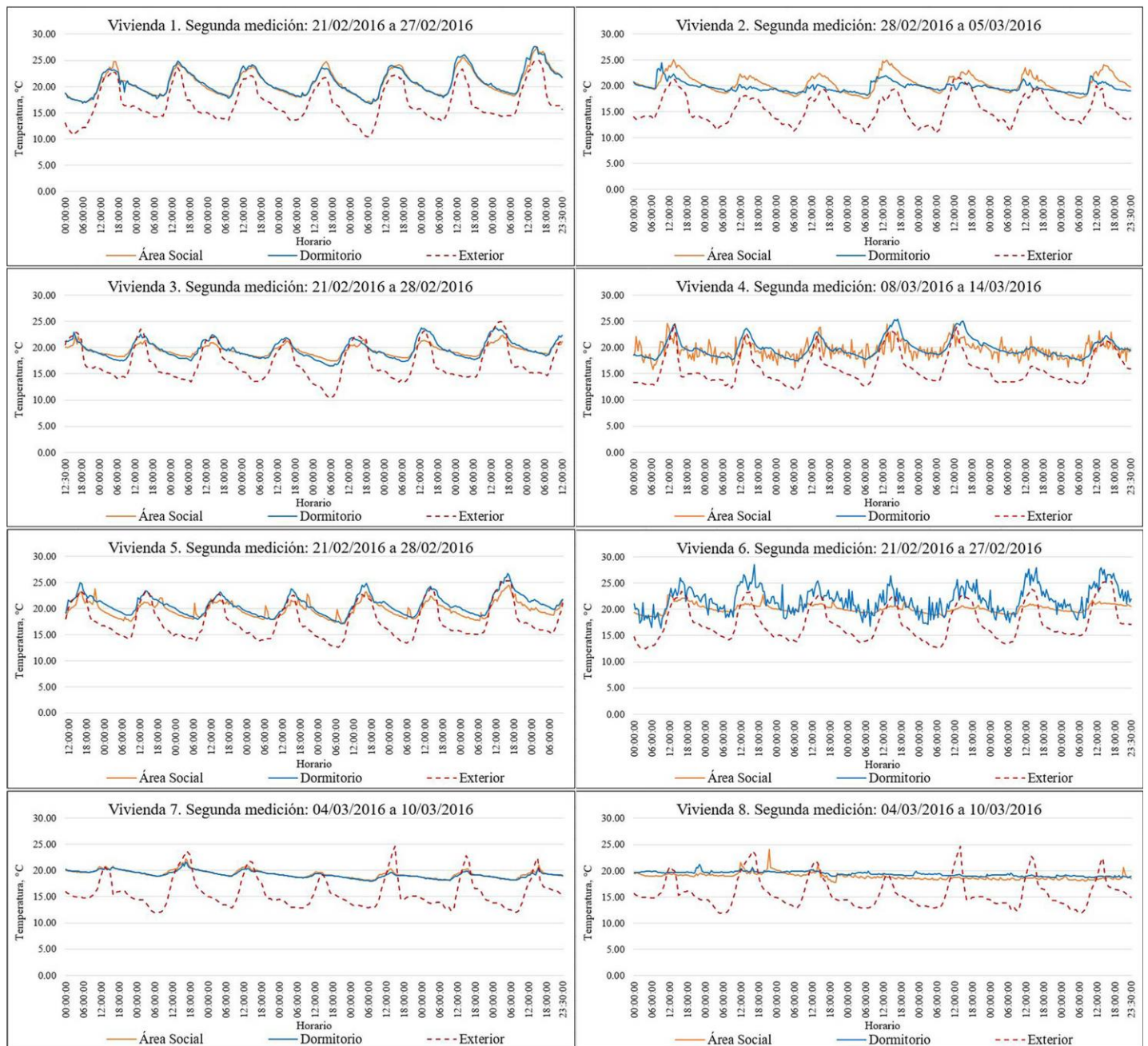




Figura 8: Temperatura del área social, dormitorio principal y temperatura exterior de las 8 viviendas - 2° período de monitoreo.



3.2.1.2. Humedad Relativa. Según el registro de la humedad relativa durante los dos períodos de monitoreo (Figura 9) en todos los casos de estudio los rangos de HR permanecen dentro de los límites dispuestos en la norma ISO 7730 para el interior de las viviendas (30 a 70%) y durante la mayor parte del tiempo los valores se mantienen dentro de un rango óptimo más estricto de HR (40 a 60%). Estos valores guardan relación con la variación

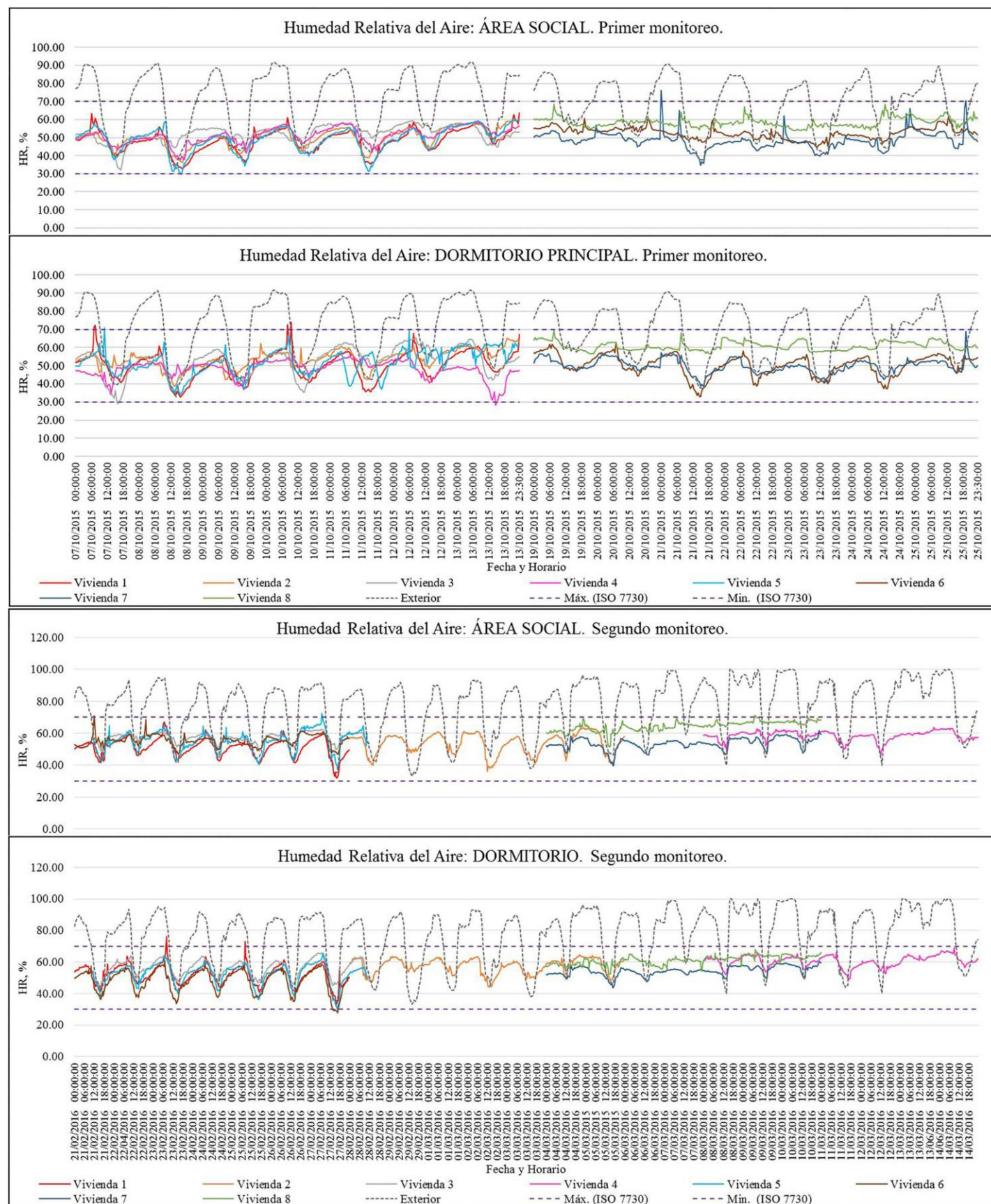
de HR del aire exterior en los diferentes períodos diarios (Anexo 13).

Los registros puntuales de velocidad del aire interior en las 8 viviendas monitoreadas determinaron que ésta se mantiene en valores cercanos a 0.0 m/s tanto para el área social como para el dormitorio principal.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

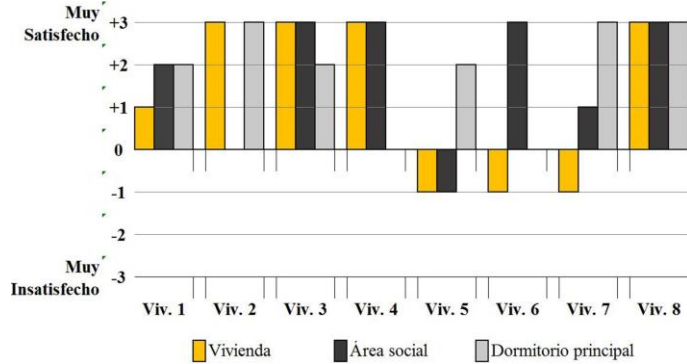
Figura 9: Registro de monitoreo de HR del área social y dormitorio principal, HR del aire exterior y rangos de confort establecidos en la norma ISO 7730. 1° Período del 07/10/2015 al 25/10/2015. 2° Período del 21/02/2016 al 14/03/2016.





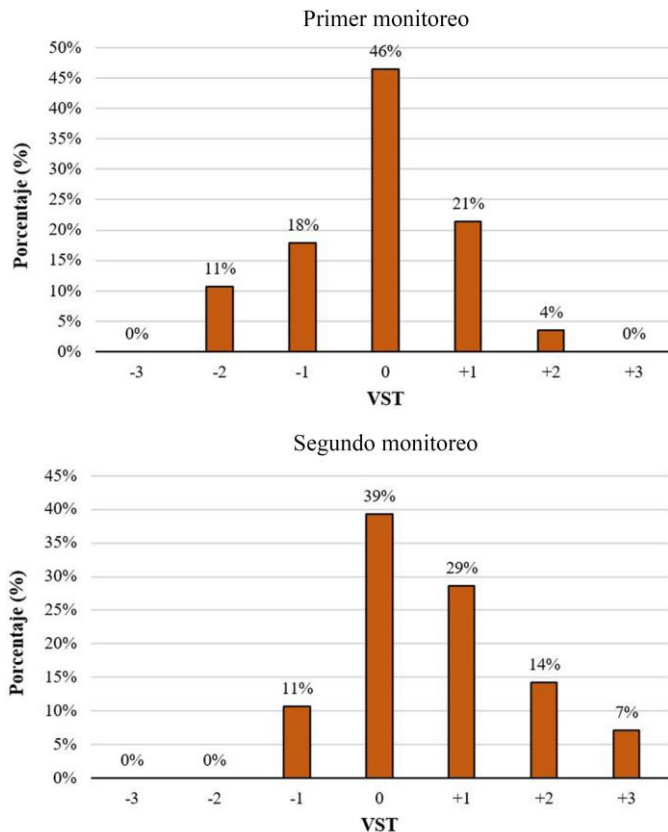
3.2.1.3. Percepción de confort térmico y sensación térmica. Se pidió a los usuarios que definan el grado de satisfacción de la temperatura interior dentro de una escala de 7 grados bipolar entre muy insatisfecho (-3) y muy satisfecho (+3). Las respuestas generadas (Figura 10) determinaron un voto negativo de percepción de confort térmico en las viviendas 5, 6 y 7.

Figura 10: Percepción de satisfacción térmica de los usuarios de las 8 viviendas monitoreadas.



Los resultados de los votos de sensación térmica (VST) de los usuarios de las viviendas monitoreadas permanecen mayoritariamente dentro de la categoría de sensación térmica neutral (cero); sin embargo se puede identificar que en el segundo período los porcentajes se desplazan hacia el lado más cálido concordando con el aumento promedio de temperatura de 1°C registrado en el monitoreo (Figura 11).

Figura 11: Distribución de los votos de sensación térmica individual (VST) de las 8 viviendas en los dos períodos de monitoreo.



En la Tabla 4 se resumen los resultados para cada caso de estudio, en donde la temperatura media del aire interior durante el primer período de monitoreo varió de 15.82°C a 23.51°C y de 17.37°C a 24.97°C a 24.94°C. Considerando cada voto individual, el VST medio fue de -0.28 para el primer período de monitoreo y de 0.49 para el segundo.

Tabla 4: Resumen estadístico de los valores de VST y temperatura operativa para ambos períodos de monitoreo.

Caso de estudio	Primer monitoreo		Segundo monitoreo	
	VST media	T _{media} (°C)	VST media	T _{media} (°C)
Vivienda 1	0.50	19.82	2.25	27.38
Vivienda 2	-0.50	18.29	0.00	19.34
Vivienda 3	0.50	20.04	0.67	22.45
Vivienda 4	0.50	20.46	-0.50	20.90
Vivienda 5	-1.25	19.14	-0.50	20.30
Vivienda 6	0.00	18.96	1.50	24.05
Vivienda 7	-2.00	18.81	0.50	20.72
Vivienda 8	0.00	17.89	0.00	19.22
	-0.28	19.18	0.49	21.79

3.2.1.4. Temperatura y rango de confort térmico. La temperatura de confort o neutralidad (T_n) se determinó por medio de un análisis de regresión entre los votos de sensación térmica de los usuarios de las viviendas obtenidos en la encuesta de campo y la temperatura del aire interior registrada en el monitoreo. En este procedimiento no se hace diferencia entre los dos períodos de medición puesto que las variaciones de temperatura son mínimas.

Se empleó la temperatura del aire ya que ésta es proporcional a la temperatura de globo y para que sea más fácilmente comparable con resultados de otros autores (Marincic 2012). Adicionalmente, la temperatura radiante coincide con la temperatura del aire cuando la velocidad del aire interior tiende a 0 m/s y de igual manera la temperatura operativa (t_o) es igual a la temperatura del aire (t_a) (Godoy Muñoz 2012).

Graficando los votos de sensación térmica se calcula la temperatura de neutralidad (T_n) empleando el método de cuadrados mínimos para el procesamiento de los datos (Figura 12). El valor resultante de T_n es de 20.12°C con un coeficiente de determinación R²=0.62. El valor R² pueden variar entre 0 ≤ R² ≤ 1, siendo R²=1 el ajuste perfecto.

El rango de confort térmico se determinó en dos escalas, para una aceptabilidad del 90% y 80%. En base a estudios anteriores (De Dear y Brager 1997) y normas internacionales (ISO 7730 y ASHRAE 55) relacionadas con el método adaptativo que determinan una oscilación de T_n de ±2.5° C para un porcentaje del 90% de usuarios satisfechos y una variación de ±3.5°C para un 80% de satisfechos. Siendo T_n igual a 20.12°C, la temperatura operativa oscila entre 16.62°C y 23.62°C para un PPD del 20% y entre 17.62°C y 22.62°C para un PPD del 10%.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Figura 12: Votos de sensación térmica en función de la temperatura interior y cálculo de T_n mediante regresión lineal.

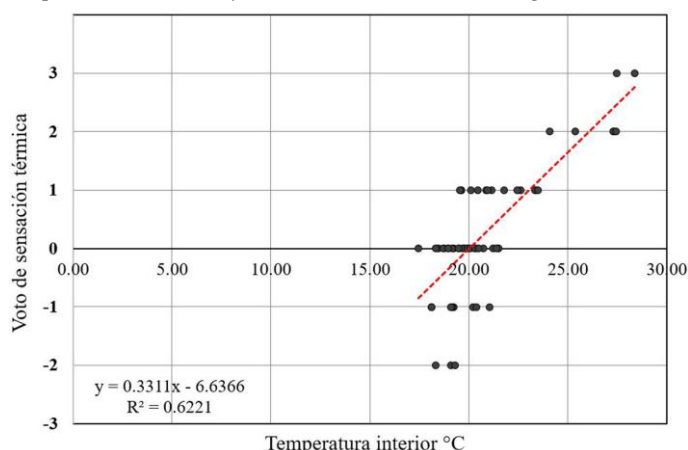


Tabla 5: Valores de temperatura operativa T_o según ASHRAE-55 y EN-15251 para cada caso de estudio

Caso de estudio	Primer monitoreo		Segundo monitoreo	
	ASHRAE-55 T_o (°C)	EN-15251 T_o (°C)	ASHRAE-55 T_o (°C)	EN-15251 T_o (°C)
Vivienda 1	22.59	23.95	23.01	24.41
Vivienda 2	22.19	23.50	22.58	23.88
Vivienda 3	22.66	23.94	23.09	24.48
Vivienda 4	22.59	23.95	22.76	24.10
Vivienda 5	22.74	24.10	23.26	24.68
Vivienda 6	22.58	23.89	23.20	24.61
Vivienda 7	22.38	23.65	22.68	23.95
Vivienda 8	22.38	23.65	22.68	23.95
	22.51	23.83	22.91	24.26

3.2.2. Calidad del aire interior

Los valores de temperatura operativa (T_o) establecidos según ASHRAE-55 y EN-15251 empleando el método adaptativo se indica en la Tabla 5. Estas normas establecen los valores de T_o según su propia base de datos en función de la temperatura del aire exterior. Se puede observar que los valores de T_o son más elevados respecto a T_n obtenida en base a VST en hasta 4°C, lo cual supondría una percepción térmica real inclinada hacia caluroso.

3.2.2.1. Monitoreo ambiental. Los registros de concentración de CO_2 (ppm) en los dos períodos de monitoreo (Figuras 13 y 14) demostraron que todos los valores se mantienen por debajo de los límites con excepciones puntuales y en períodos no representativos (Anexo 14). El área social de las viviendas presenta mejores condiciones de calidad de aire según este criterio ya que los rangos de concentración de CO_2 se mantienen por debajo del límite óptimo establecido en la norma NEC-11.

Figura 13: Registro de primer monitoreo de concentración de CO_2 (ppm) del área social y dormitorio principal en relación a límites establecidos en ASHRAE 62.1 Y NEC-11. Período del 07/10/2015 al 25/10/2015.

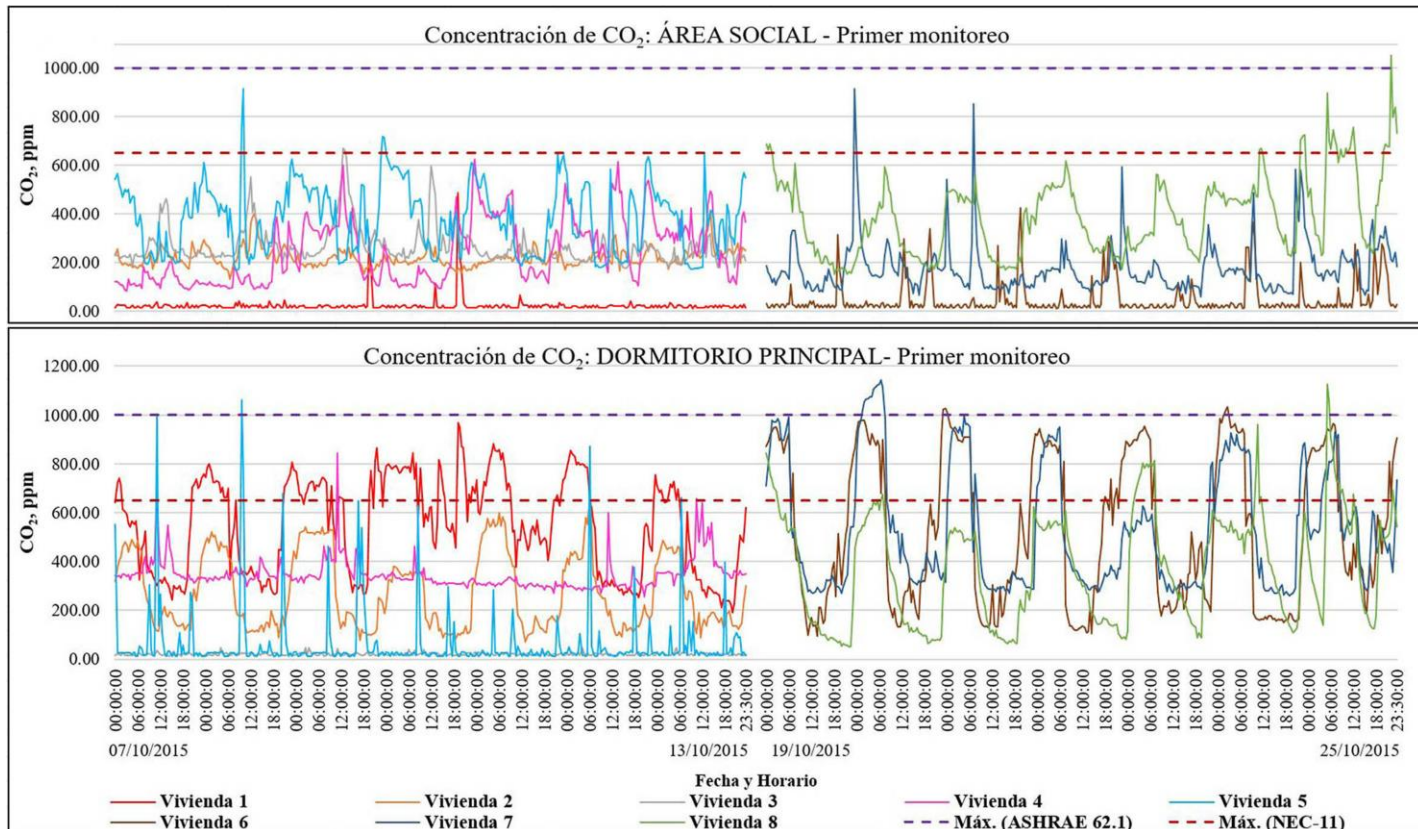
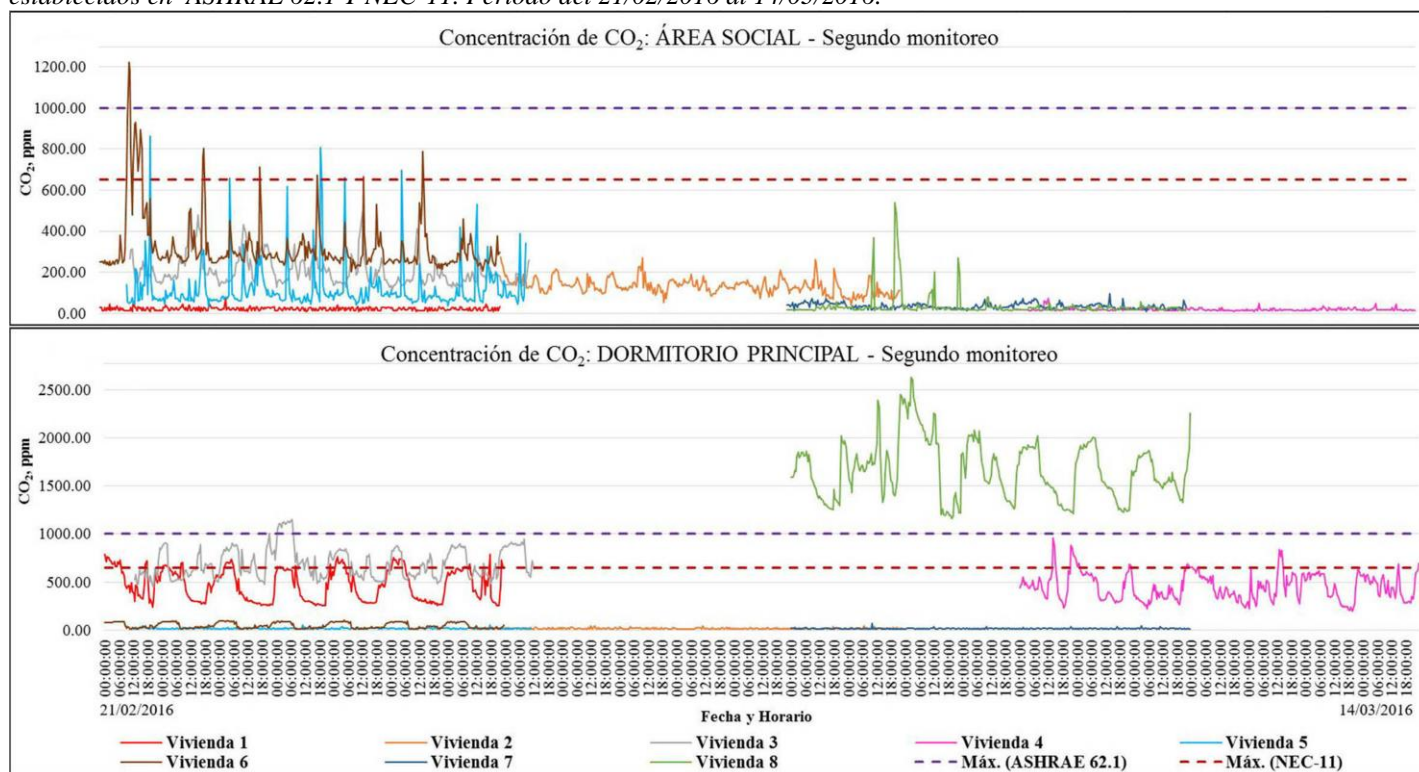


Figura 14: Registro de segundo monitoreo de concentración de CO₂ (ppm) del área social y dormitorio principal en relación a límites establecidos en ASHRAE 62.1 Y NEC-11. Período del 21/02/2016 al 14/03/2016.



En el dormitorio principal de todas las viviendas se evidencia una considerable elevación de los valores de concentración de CO₂ durante la noche aunque sin llegar a sobrepasar el límite ampliado (1000 ppm), con excepción de un registro atípico durante la segunda medición en la vivienda 8.

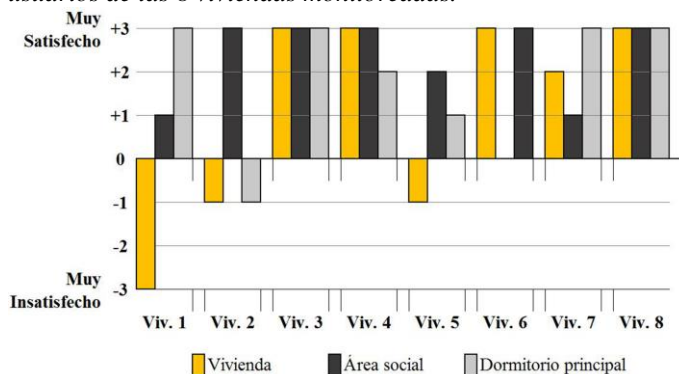
El registro sugiere que la elevación de los valores de CO₂ en determinados períodos del día responde a la forma de uso y no a características constructivas, ya que normalmente en el área social estos valores se elevan en el transcurso del día y aumentan en el dormitorio principal durante la noche, correspondiendo a los períodos en los que se utilizan dichas áreas.

3.2.2.2. Percepción de confort de calidad del aire interior.

Los resultados de percepción que tienen los usuarios sobre la calidad del aire interior (Figura 15) se registraron en base a una escala de 7 grados bipolar entre muy satisfecho (+3) y muy insatisfecho (-3).

En general, para los espacios de la vivienda analizados se presentaron valoraciones positivas de percepción de la calidad del aire. Existen casos como la vivienda 1 en donde a pesar de tener percepciones favorables del área social y dormitorio en cuanto a la percepción general recibe un voto muy bajo por lo que se deduce que es debido a problemas en otros espacios no estudiados. En la vivienda 2, la percepción desfavorable general de la vivienda al parecer se ve influenciada por la del dormitorio y en la vivienda 5 las valoraciones no muy satisfactorias de los espacios influyen en la percepción general de la vivienda.

Figura 15: Percepción de calidad del aire interior de los usuarios de las 8 viviendas monitoreadas.



3.2.3. Iluminación natural

3.2.3.1. Simulaciones. Por medio de las simulaciones realizadas en el programa Autodesk Ecotect Analysis 2011 (Figura 16) se determinaron los valores de factor luz día (FLD) y del nivel de iluminación (lux) del área social y dormitorio principal (Figura 17).

Comparando los valores de FLD obtenido en las simulaciones y los límites normativos se diferencia que el dormitorio principal de la vivienda 1 es el único espacio que no cumple con el requerimiento mínimo, mientras que casas como la 4, 5 y 8 presentan valores altos de FLD. Un caso especial es el área social de la vivienda 2 ya que el valor FLD es superior a la media y se debe a que cuenta con iluminación cenital directa. Todos los niveles de iluminación (lux) obtenidos para cada vivienda cumplen con los requisitos mínimos en ambos espacios.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Figura 16: Factor luz día (FLD) del área social y dormitorio principal obtenido de las simulaciones realizadas a las 8 viviendas monitoreadas.

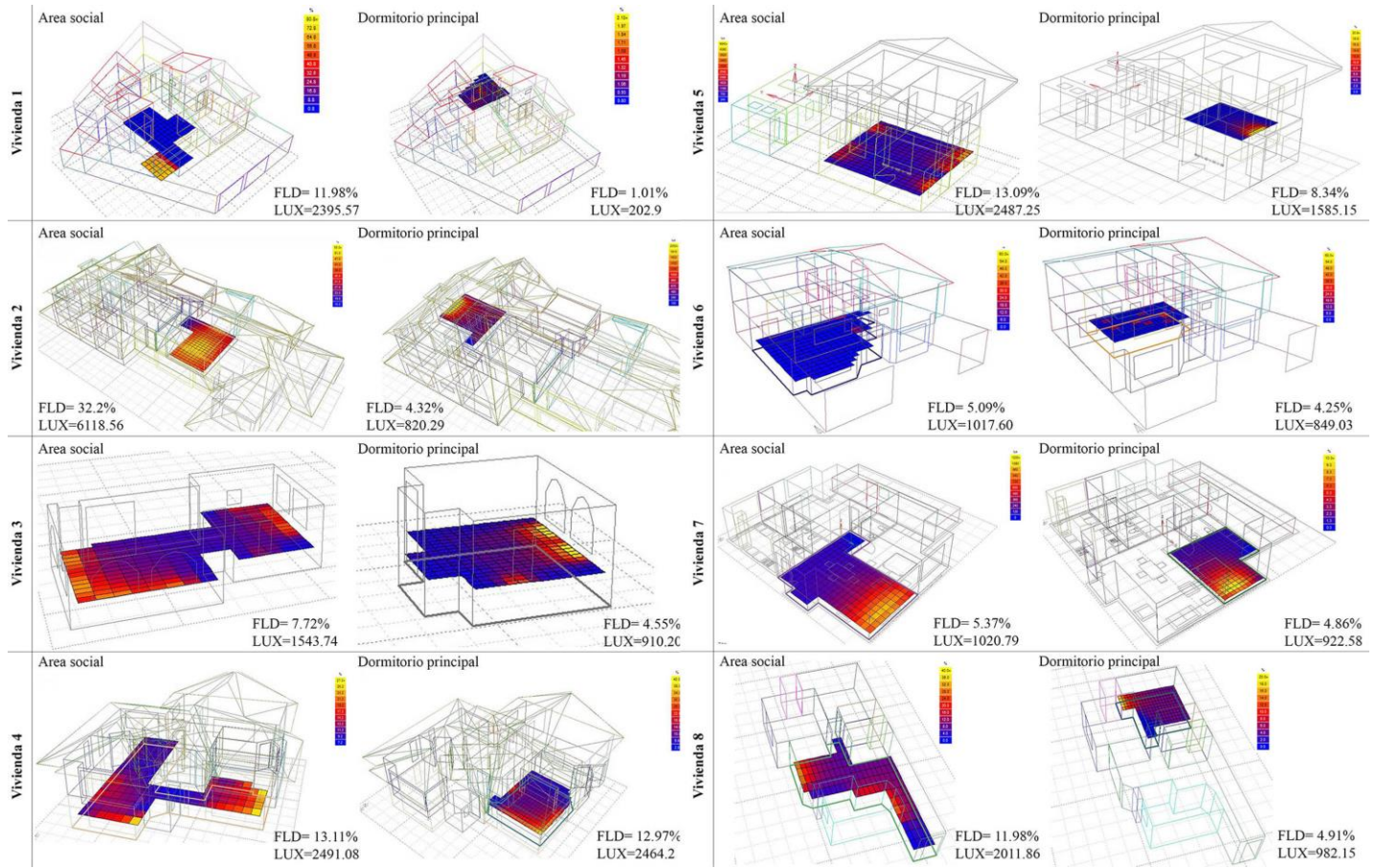
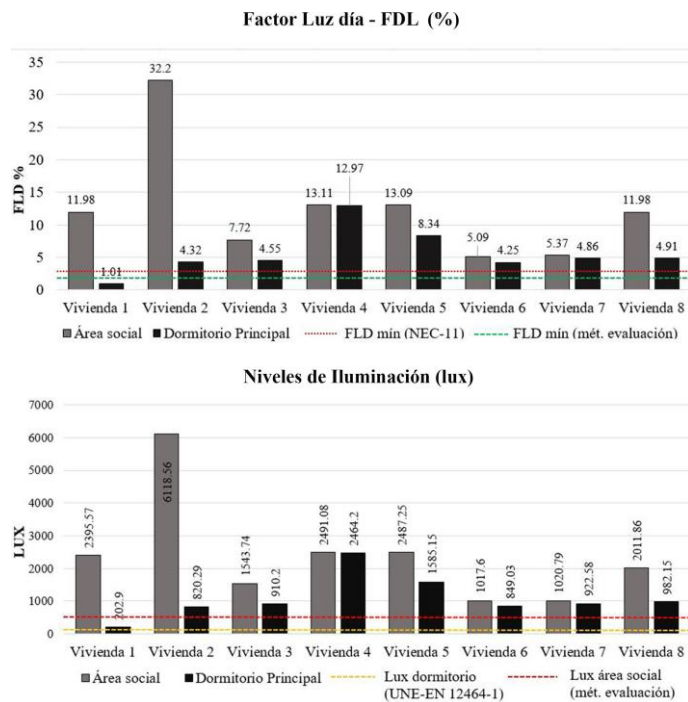
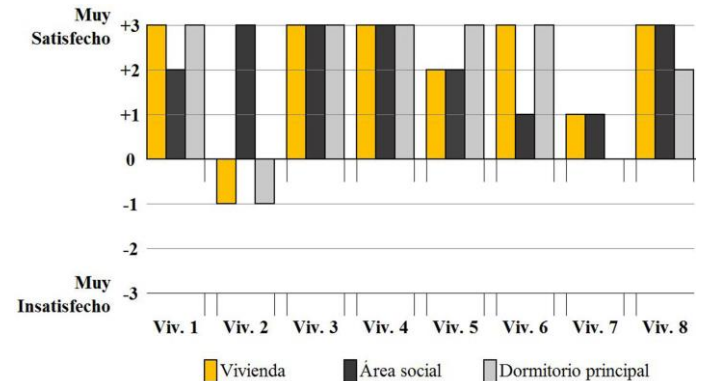


Figura 17: Factor luz día (FLD) y niveles de iluminación (lux) de las 8 viviendas monitoreadas.



3.2.3.2. Percepción de confort de iluminación natural. La percepción de comodidad visual de los usuarios se valoraron en dos aspectos, sobre el nivel de iluminación natural (Figura 18) y sobre la comodidad visual en cuanto al control de deslumbramiento, reflexiones y contrastes.

Figura 18: Percepción de confort de la iluminación natural en las 8 viviendas monitoreadas.

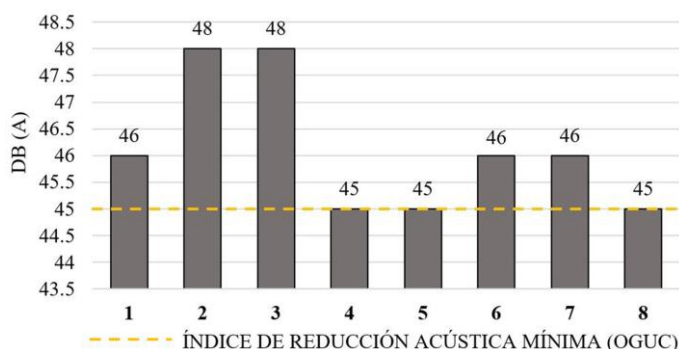


Las viviendas tienen valoraciones positivas de los usuarios, salvo en la vivienda 2 en donde las condiciones de iluminación del área social provocan una percepción de inconformidad. Las viviendas 6 y 7 cuentan con espacios que podrían mejorar para lograr satisfacer completamente a los usuarios. En cuanto a la comodidad visual, la vivienda 6 es el único caso en donde se expresa insatisfacción.

3.2.4. Acústica

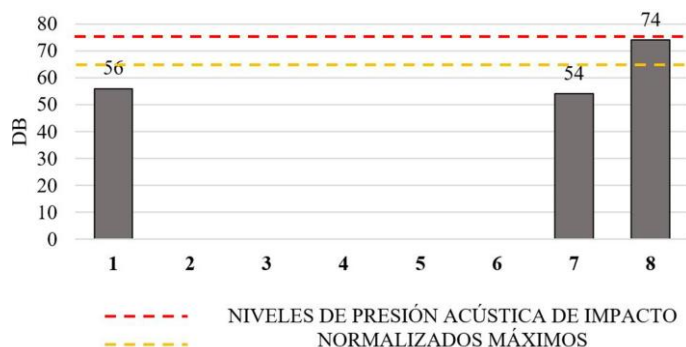
3.2.4.1. Aislamiento acústico. Se determinaron los índices de reducción acústica de los muros perimetrales de las 8 viviendas (Figura 19). Al comparar los valores con el mínimo establecido en OGUC (2015) de 45dB(A) se puede observar que en todos los casos los valores se encuentran sobre el estándar y que las viviendas 2 y 3 presentan mejores características de aislamiento acústico de los ruidos transmitidos por el aire.

Figura 19: Índices de reducción acústica dB(A) de los muros perimetrales de las 8 viviendas monitoreadas.



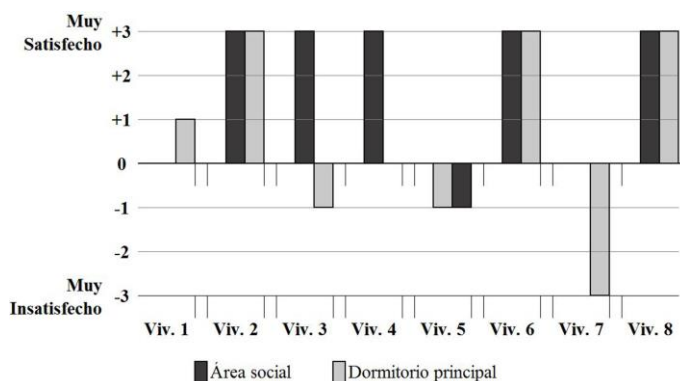
Al determinar los niveles de presión acústica de impacto normalizado de las superficies horizontales que separan unidades habitacionales comparados con los valores máximos de 75dB y 65dB (Figura 20) se determina que las viviendas 1 y 7 cumplen de mejor manera con los límites establecidos.

Figura 20: Niveles de presión acústica de impacto normalizado dB de las losas de entepiso de los departamentos monitoreados (1-7-8).



3.2.4.2. Percepción de confort acústico. Los resultados de percepción de confort acústico de los usuarios (Figura 21) demuestran que el dormitorio principal es generalmente el espacio que presenta condiciones de inconformidad.

Figura 21: Percepción de confort acústico en las 8 viviendas monitoreadas.



Se puede observar que las viviendas 2, 6 y 8 cumplen con las expectativas de confort acústico de los usuarios y al ser las que se encuentran ubicadas en lugares interiores y de poco tráfico sugieren que el ruido producido por los vehículos es el principal problema. El dormitorio de la vivienda 7 tiene la mínima valoración de confort acústico y es la que se encuentra ubicada frente a una avenida muy transitada.

4. DISCUSIÓN

El estudio muestra que las experiencias de los ocupantes no siempre mantienen una relación consecuente con el cumplimiento de ciertas normas respecto a los aspectos que intervienen en la calidad del ambiente interior. Como se puede observar en la Tabla 6, la vivienda que cumple con todas los estándares establecidos en las normas analizadas no es la que recibe el mayor puntaje de valoración global de satisfacción de los ocupantes. Las viviendas 3, 4 y 8, a pesar de ser las mejor valoradas por los ocupantes, presentan ciertos problemas en cuanto al cumplimiento de los estándares.

Al analizar de forma independiente cada aspecto de IEQ se determina que los usuarios se sienten más satisfechos con la calidad del aire interior y la iluminación natural de sus viviendas; y que, la temperatura interior es el mayor problema de incomodidad.

El nivel de cumplimiento de las normas y la percepción de los usuarios sugieren que las características de las viviendas analizadas no presentan problemas extremos de IEQ ya que todas cumplen total o parcialmente los estándares establecidos y el grado de insatisfacción de los usuarios con respecto a ciertos factores no tienen valoraciones negativas extremas (-3). Se puede relacionar este resultado a que las condiciones medioambientales de la ciudad de Cuenca se mantienen todavía dentro de rangos no extremos y manejables.



Tabla 6: Resumen de resultados obtenidos en las mediciones y entrevistas en las 8 viviendas monitoreadas.

Norma / Estándar	Vivienda 1				Vivienda 2				Vivienda 3				Vivienda 4				Vivienda 5				Vivienda 6				Vivienda 7				Vivienda 8			
	A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.		A. S.		D. P.	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
NEC-11, ISO 7730, ASHRAE 55 (18°C - 26°C aprox.)	-	-			+	+			+/-	+/-			-	+			-	+/-			+	-			+	+			+/-	+		
CT ISO 7730 (HR 30% - 70%)	+	+2	+	+2	+	0	+	+3	+	+3	+	+2	+	+3	+	0	+	-1	+	+2	+	+3	+	0	+	+1	+	+3	+	+3	+	+3
NEC-11 (40% - 65%)	+/-	-			+	+			+/-	+/-			+	+/-			+/-	-			+	-			+	+			+/-	+		
EN 15251, Cat. III (máx. 1150 ppm)	+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+/-			+	+/-			+	-		
CAI ASHRAE Standard 62.1, UNE 100011 (máx. 1000 ppm)	+	+1	+	+3	+	+3	+	-1	+	+3	+	+/- +3	+	+3	+	+2	+	+2	+	+1	+/-	0	+	+3	+	+1	+	+/- +3	+	+/- +3	-	+3
NEC-11 (máx. 650 ppm)	+	-			+	+			+	-			+	+/-			+/-	-			+	-			+/-	-			+/-	-		
NEC-11 (FLD ≥ 3%)	+	-			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+		
CV Método de Evaluación (FLD ≥ 2%)	+	+2	-	+3	+	+3	+	-1	+	+3	+	+3	+	+3	+	+3	+	+2	+	+3	+	+1	+	+3	+	+1	+	0	+	+3	+	+2
INEN 1152 (Salas FLD ≥ 0.625% / Dorm. FLD ≥ 0.313%)	+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+		
Método de Evaluación (Sala 50-300lux / Dor. 100lux)	+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+			+	+		
CA OGUC-Chile (min. 45 dB(A))	+	0	+	+1	NA	+3	NA	+3	NA	+3	NA	-1	NA	+3	NA	0	NA	-1	NA	-1	NA	+3	NA	+3	+	0	+	-3	+	+3	+	+3
OGUC-Chile (máx. 65dB(A) - 75 dB(A))	+	+5	+	+9	NA	+9	NA	+4	NA	+12	NA	+7	NA	+12	NA	+5	NA	+2	NA	+5	NA	+7	NA	+9	NA	+3	NA	+3	NA	+12	NA	+11

CT: Confort higrotérmico CAI: Calidad de aire interior CV: Confort visual CA: Confort acústico

N: Valoración del cumplimiento de la norma o estándar, en donde (+) significa que cumple completamente, (+/-) que cumple uno de los rangos o excede los límites de manera puntual y (-) significa que no cumple la norma

P: Valoración subjetiva de percepción de confort en una escala de 7 grados desde (-3) muy insatisfecho a (+3) muy satisfecho

4.1. Confort térmico. Según las mediciones realizadas en las dos etapas de monitoreo se determinó la temperatura media exterior de las viviendas en 15.20 °C para el primer período y de 16.47°C para el segundo. Con relación a la temperatura interior de las viviendas, la media aritmética en el primer monitoreo es de 18.77°C en el área social y de 18.89°C en el dormitorio. En el segundo monitoreo se obtuvieron valores de 19.80°C y 20.16°C respectivamente. Se identifica un aumento de temperatura entre ambos períodos de alrededor de 1°C.

A pesar de ser mínima la diferencia de temperatura entre ambas épocas; se produce variación en cuanto a la sensación térmica de los usuarios de las viviendas. En el primer monitoreo el 46% de los encuestados reportaron una percepción de temperatura confortable (0) y el 39% una sensación aceptable (+1, -1). En el segundo período disminuye el porcentaje de percepción confortable al 39% y se mantiene un 40% adicional como aceptable; pero con una clara tendencia de sensación hacia algo caluroso.

A través de los votos de sensación térmica se determinó por medio del método adaptativo un valor de $T_n=20.12^{\circ}\text{C}$ como estándar local, el cuál varía con respecto a la temperatura neutra de confort establecida en las normas internacionales y locales de alrededor de 22°C y en torno al cual se define un rango aproximado de confort térmico entre los 18°C y 26°C; sin embargo, según el presente estudio este rango debe limitarse a temperaturas interiores que oscilen entre los 16.62 a 23.62°C como límite ampliado o entre los 17.62 a 22.62°C como rango óptimo.

Se evidencia en los usuarios predisposición de adaptación a una temperatura menor de confort que lo establecido en las normas como respuesta a las condiciones ambientales del clima andino en el que se encuentra ubicada la ciudad.

En promedio y durante la mayor parte del tiempo todas las viviendas se aproximan a la temperatura de confort establecida; sin embargo existen momentos específicos con variaciones marcadas de temperatura que producen en los usuarios problemas de confort térmico. Se registraron valores mínimos de temperatura interior de 13.96°C y máximo de 28.7°C en el primer período y de 15.77°C a 28.52°C en el segundo. Esta es la razón

por la cual se hace necesario disponer de condiciones que eviten la variación extrema de temperatura o mecanismos que permitan modificar algunas características de las viviendas cuando sea necesario frente a temperaturas exteriores muy bajas o altas. Una vivienda con condiciones estáticas vuelven vulnerables a los usuarios frente a climas adversos.

Los valores de humedad relativa permanecieron en condiciones aceptables durante los períodos de monitoreo por cuanto su influencia en el confort higrotérmico es imperceptible para los usuarios. De los registros ambientales se determinó como media aritmética de los máximos y mínimos que los valores de HR oscilan entre 39.11% y 65.62% entre ambos períodos de monitoreo, por cuanto se determina que es factible determinar un rango más preciso de HR entre 40% a 65% para las condiciones locales.

4.2. Calidad de aire interior. En la mayoría de las viviendas se cumple con las expectativas de calidad de aire interior de sus usuarios, salvo las viviendas 1, 2 y 5 que presentan cierto grado de insatisfacción. Con respecto al cumplimiento de las normas, en todos los casos se mantienen dentro de los límites establecidos salvo ciertos momentos puntuales en los que los sobrepasan.

Según las mediciones, los valores de CO₂ del área social son mucho menores a los del dormitorio principal; la media aritmética del valor máximo en el área social es de 689 ppm y de 860 ppm en el dormitorio. Del segundo monitoreo se obtienen valores de 454 ppm para ambos espacios. Tomando en cuenta todos los máximos obtenidos se establece como un valor óptimo máximo de concentración de CO₂ de 614.25 ppm para las condiciones locales.

Se puede observar que en varios de los casos de estudios la concentración de CO₂ en los dormitorios principales se acerca o sobrepasan los 1000 ppm durante las horas de la noche. La vivienda 6 presenta los picos mayores de CO₂ y coincide con el menor porcentaje de abertura de ventanas en relación al área útil. La vivienda 8 presenta valores excesivos de CO₂ durante el segundo monitoreo del dormitorio principal, al ser un valor atípico no se considera para el presente estudio.

Bajo las condiciones registradas se evidencia que es factible



mantener un nivel máximo de concentración de CO₂ de 614.25 ppm como estándar. Sin embargo, para asegurar estas condiciones de confort en las viviendas es necesario analizar las costumbres de uso de las mismas y la relación entre la necesidad de ventilación con la pérdida de temperatura interior durante las noches o en días muy fríos, puesto que son estos momentos puntuales en los que se requiere disponer de mecanismos que permitan mantener los valores de CO₂ en niveles óptimos.

4.3. Confort visual. El estudio permitió observar que no todas las habitaciones de las viviendas que tienen un factor de luz día mínimo de 3% cumplen con las expectativas óptimas de los usuarios. Tomando en consideración investigaciones previas que determinan que valores sobre 5% es necesario revisar las ganancias térmicas o problemas de deslumbramiento se determina que el área social de las viviendas locales puede mantener este valor como óptimo una vez que se pudo comprobar que en todos los registros FLD se mantiene sobre este límite. Para el área del dormitorio principal se determina un valor de FLD mínimo de 4% según la media aritmética de los valores registrados en los dormitorios y que no sobrepasen el 5%.

En el registro de niveles de iluminación (lux) la totalidad de las viviendas analizadas cumplieron con las normas establecidas con valores mucho más elevados y por ende es conveniente mantener el valor de 300 lux como estándar local mínimo para ambos ambientes.

En el análisis de percepción de comodidad visual en cuanto al deslumbramiento se puede apreciar que solamente la vivienda 6 tuvo una baja valoración determinada por la falta de provisión de sistemas de apantallamiento para reducir el deslumbramiento en la ventana del dormitorio al existir una orientación de la fachada en sentido E-O. En todos los otros casos de estudio, el elevado nivel de satisfacción de comodidad visual a pesar de los altos valores registrados de FLD y Lux sugieren que existe un proceso de adaptación a las condiciones de radiación solar locales con las que se cuenta durante todo el año y de forma directa.

4.4. Confort acústico. Para el análisis del confort acústico se consideraron dos parámetros: el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico; sin embargo, en el presente estudio los usuarios consideran solamente al ruido como el elemento que les provoca incomodidad.

El problema de presencia de ruidos exteriores se centra en el dormitorio principal en la mayoría de las viviendas; sin embargo, al analizar las características de aislamiento de los muros perimetrales se obtuvo que en todos los casos cumplen lo establecido en la norma empleada.

No se puede determinar una relación directa entre las características acústicas de los muros y el nivel de percepción de confort; sino más bien que la incomodidad se relaciona con la ubicación de la vivienda frente a vías de alto tráfico. Las viviendas aisladas y con retiro frontal presentan mejor percepción de confort acústico. Se mantienen los índices establecidos en las normas puesto que en condiciones regulares de ruido exterior cumplen con las expectativas de los usuarios y se hace necesario que se establezcan mecanismos de aislamiento acústico para casos puntuales con presencia de ruidos exteriores.

En la Tabla 7 se resume los estándares adaptados para las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca según los aspectos que intervienen en la calidad del ambiente interior (IEQ).

Tabla 7: Resumen de estándares de confort establecidos para las viviendas urbanas de la ciudad de Cuenca.

Aspecto	Unidad	Valor
Temperatura de confort (Tn)	°C	20.12
Rango de confort 20% PPD	°C	16.62 – 23.62
Rango de confort 10% PPD	°C	17.62 – 22.62
Humedad Relativa (HR)	%	40 - 65
Concentración de CO ₂	ppm	614.25
Factor Luz Día - área social	%	≥ 5
Factor Luz Día - dormitorio	%	≥ 4
Nivel de Iluminación	lux	≥ 300
Índice de reducción acústica	dB (A)	mín. 45
Nivel de presión acústica de impacto normalizado	dB	máx. 65

4.5. Definición de estrategias

Como una recopilación de las sugerencias indicadas en las normas estudiadas se sugieren estrategias para mejorar las condiciones básicas de IEQ de las viviendas y elevarlas a un nivel de mejores prácticas. Estas estrategias pueden convertirse en punto de partida de posteriores investigaciones experimentales que comprueben su grado de eficacia.

- Se recomienda almacenar la radiación solar en elementos macizos de materiales como hormigón, piedra o arcilla, para que el calor acumulado se restituya en las horas nocturnas.
- Limitar los intercambios de temperatura con el exterior reduciendo la superficie en la envolvente, reforzando el aislamiento térmico y disminuyendo el movimiento del aire.
- Evitar la pérdida de calor en los espacios interiores por efecto de infiltraciones de aire.
- Crear accesos a las viviendas como un espacio cerrado que se constituya en una esclusa que evite la pérdida de aire caliente o frío del interior.
- Para aumentar la ganancia solar en las cubiertas se puede emplear cubiertas planas de color oscuro.
- Para disminuir la concentración de CO₂, se propone que los lugares secos deben contar con aberturas de admisión y los lugares húmedos deben contar con aberturas de extracción.
- Emplear la estrategia de ventilación cruzada en donde el viento predominante incida en los lugares secos (dormitorios, salas de estar, estudios).
- Contar con un escape local en los espacios que producen contaminantes tales como humedad, olores, compuestos orgánicos volátiles o productos de combustión.
- Disponer de mecanismos de ventilación en los dormitorios durante la noche para evitar la concentración de CO₂ para permitir la renovación de aire con los otros ambientes de la vivienda evitando provocar incomodidad térmica.
- Contar con mecanismos adicionales de aislamiento acústico en ventanas y puertas de las viviendas ubicadas junto a vías de alto tráfico.



V. CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar que en base a las características medioambientales, socioculturales y constructivas locales es preciso determinar estándares de confort adaptados a nuestro medio con la finalidad de conseguir niveles óptimos de confort. En el caso de la temperatura, se evidenció una adaptación hacia el clima andino con un rango de confort inclinado a temperaturas menores. En el caso de la iluminación natural, la incidencia solar directa y permanente determinaron rangos más elevados de confort. La calidad del aire interior, de igual manera, posee estándares de confort más elevados a la mayoría de las normas ya que el ambiente exterior en general no presenta índices de contaminación extremos y las condiciones climáticas permiten la utilización de métodos de ventilación natural durante todo el tiempo.
- La variación de temperatura en el interior de las viviendas en determinados períodos del día o de la noche hace necesario que los elementos que permiten mayor intercambio de temperatura como las ventanas deban ser estudiados a mayor detalle y normalizados para conseguir mejores resultados de estabilidad térmica.
- Los problemas de aplicabilidad universal de los estándares de confort y en especial del confort térmico son mayores cuando se analizan edificaciones ventiladas naturalmente o que utilizan herramientas pasivas de control ambiental debido a que las condiciones son muy variables en relación a viviendas que cuentan con sistemas mecánicos.
- En el análisis comparativo entre la percepción subjetiva del usuario y los valores físicos medidos se debe evitar el ingreso erróneo de datos de partidas y un desfase físico-espacial y temporal de la toma de datos con relación al momento preciso de la experiencia del ocupante.
- A pesar de las variaciones encontradas entre los rangos de confort determinados en algunas normas y las condiciones locales, es importante reconocer que en todos los casos mantienen concordancia entre sí. Es necesario que todo ese respaldo científico existente sea empleado para perfeccionar y definir con precisión los niveles locales.
- La definición y exigencia de un nivel de confort local se puede convertir en un punto clave de exigencia de los compradores de viviendas futuras, en donde se valore el diseño y los sistemas constructivos que consigan edificaciones con un ambiente interior de alta calidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, a la Maestría en Construcciones del Centro de Postgrados por la valiosa formación recibida y de manera especial al Proyecto de Investigación “Método de Certificación de la Construcción Sustentable de Viviendas” del cual forma parte el presente estudio con el financiamiento de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca DIUC.

A mi familia, por los días y noches que les privé de mi atención.

DAVID ALBERTO BUSTILLOS YAGUANA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL HERR, Y., ARIF, M., KATAFYGIOTOU, M., MAZROEI, A., KAUSHIK, A. y ELSARRAG, E., 2016. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment* [en línea], vol. 5, no. 1, pp. 1-11. ISSN 22126104. DOI 10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>.
- ASHRAE, 2004. *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* [en línea]. 2004. Atlanta: s.n. ISBN 9788578110796. Disponible en: www.ashrae.org.
- ASHRAE, 2007. *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for acceptable indoor air quality*. 2007. S.l.: s.n.
- ASHRAE, 2013. *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, ASHRAE 55-2010*, vol. 8400.
- AULICIEMIS, A., 1981. Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, vol. 25, no. 2, pp. 109-122. ISSN 00207128. DOI 10.1007/BF02184458.
- BAYULKEN, B. y HUISINGH, D., 2015. Perceived ‘Quality of Life’ in eco-developments and in conventional residential settings: an explorative study. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 98, pp. 253-262. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.10.096. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614011688>.
- BORGESON, S. y BRAGER, G., 2011. Comfort standards and variations in exceedance for mixed-mode buildings. *Building Research & Information*, vol. 39, no. 2, pp. 118-133. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613218.2011.556345.
- BRAGER, G.S. y DE DEAR, R., 2001. Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *Center for the Built Environment, Berkeley, U C* [en línea], pp. 19. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(02)00005-1. Disponible en: <http://www.escholarship.org/uc/item/2048t8nn>.
- BRUNSGAARD, C., HEISELBERG, P., KNUDSTRUP, M. -a. y LARSEN, T.S., 2012. Evaluation of the Indoor Environment of Comfort Houses: Qualitative and Quantitative Approaches. *Indoor and Built Environment*, vol. 21, no. 1, pp. 432-451. ISSN 1420-326X. DOI 10.1177/1420326X11431739.
- CBE, 2015. Occupant Indoor Environmental Quality (IEQ) Survey. *Center for the Built Environment, Berkeley, U C* [en línea]. Disponible en: <http://www.cbe.berkeley.edu/research/survey.htm>.
- CHAPPELLS, H. y SHOVE, E., 2005. Debating the future of comfort: environmental sustainability, energy



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- consumption and the indoor environment. [en línea], no. December 2012, pp. 37-41. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/0961321042000322762. Disponible en: <http://prod.informaworld.com/smpp/content~content=a714022897?words=chappells%7Cdebating&hash=2252635700>.
- CLAUSEN, G. y WYON, D.P., 2008. The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance. *HVAC & R Research*, vol. 14, no. 1, pp. 103-113.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2016. Climate-Data.Org. [en línea]. Disponible en: es.climate-data.org/location/875185.
- CORGNATI, S.P., FILIPPI, M. y VIAZZO, S., 2007. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and Environment*, vol. 42, no. 2, pp. 951-959. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.10.027.
- COVARRUBIAS, M., 2012. *Determinación de estándares de confort térmico para personas que habitan en clima tropical sub-húmedo*. S.l.: Universidad Internacional de Andalucía.
- DE DEAR, R.J. y BRAGER, G.S., 1997. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ,
- DE DEAR, R.J. y BRAGER, G.S., 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 6, pp. 549-561. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(02)00005-1.
- DE GIULI, V., DA POS, O. y DE CARLI, M., 2012. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. *Building and Environment* [en línea], vol. 56, pp. 335-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.024>.
- EN, 2007. DS/EN 15251:2007: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. [en línea], pp. 54. DOI 10.1520/E2019-03R13. Copyright. Disponible en: <http://sd.ds.dk.globalproxy.cvt.dk/Viewer?ProjectNr=M204572&Status=60.61&VariantID=&Page=0>.
- ESTRELLA, P., VINTIMILLA, M., SALAZAR, A.C., CABRERA, M., CORDERO, J.F., SIGÜENZA, M., POZO, M.E., RODAS, E., ANDINO, S., ARIAS, M., ORTIZ, C., JARAMILLO, C., MAITA, S. y ASTUDILLO, E., 2012. Segunda Encuesta de Percepción sobre la Calidad de Vida en Cuenca-Ecuador 2012. *Cuenca, ciudad para vivir*, pp. 28.
- FANGER, P.O., 1970. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- FANGER, P.O., 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine* [en línea], vol. 30, no. 4, pp. 313-324. ISSN 1351-0711. DOI 10.1136/oem.30.4.313. Disponible en: <http://oem.bmj.com/cgi/doi/10.1136/oem.30.4.313>.
- GODOY MUÑOZ, A., 2012. *El confort térmico adaptativo: aplicación en la edificación en España*. S.l.: Universidad Politécnica de Cataluña.
- GYLLING, G., KNUDSTRUP, M., HEISELBERG, P.K. y HANSEN, E.K., 2011. Measuring sustainable homes - a Mixed Methods approach. *Media*, pp. 20-24.
- IERSE, 2012. Mapa de ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca. [en línea]. Cuenca - Ecuador: Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3281/1/10055.pdf>.
- INAMHI, 2012. Anuario Meteorológico. [en línea]. Quito: Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.
- INAMHI, 2016. Boletín Climatológico Anual 2015. [en línea]. Quito: Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.
- INEC, I.N. de E. y C., 2006. Las condiciones de vida de los ecuatorianos. *Resultados de la Encuesta de Condiciones de Vida - Quinta Ronda* [en línea], pp. 20. Disponible en: www.inec.gov.ec.
- INEC, I.N. de E. y C., 2015. Compendio de Resultados Encuesta de Vida ECV - Sexta Ronda 2015. *Inec*, pp. 197. DOI 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- INEN, 1984. *NTE INEN 1152:84 Iluminación natural de edificios*. 1984. S.l.: s.n.
- ISO, 2002. *UNE-EN ISO 10551:1995*. 2002. S.l.: s.n.
- ISO, 2006. *UNE-EN ISO 7730*. 2006. S.l.: s.n.
- KAMARUZZAMAN, S.N., EGBU, C.O., ZAWAWI, E.M.A., ALI, A.S. y CHE-ANI, A.I., 2011. The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 407-413. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.10.003.
- LAI, a. C.K., MUI, K.W., WONG, L.T. y LAW, L.Y., 2009. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 930-936. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2009.03.016.
- MALMQVIST, T., 2008. Environmental rating methods: selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators. *Building Research & Information*, vol. 36, no. January 2015, pp. 466-485. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613210802075841.
- MARINCIC, I.J.M.O.J.A.D.R., 2012. Confort Térmico Adaptativo Dependiente De La Temperatura Y La Humedad. *Architecture, City and Environment*, vol. 7, no. 20, pp. 27-46. ISSN 1886-4805.
- MINVU-DITEC, 2014. *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del*



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo ED12. 2014. Chile: s.n.
- MOLINA, C. y VEAS, L., 2012. Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la Construcción*, vol. 12, no. 22-2012, pp. 27-38.
- MUI, K.W., WONG, L.T., FONG, K.N.K. y WONG, W.W.Y., 2008. An acceptable IEQ is a subjective feeling of comfort made up of a composite state of an occupant's mind responding to the senses to a number of environmental parameters, including air temperature, relative humidity, sound. En: NULL, *International Journal for Housing Science*, vol. 32, no. 2, pp. 121-131.
- MVCS, 2013. Resultados de la Encuesta Nacional sobre la Percepción de las Familias respecto al Confort Térmico y Lumínico de su vivienda. Lima, Perú:
- NEC-11, 2011. *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11*. 2011. S.l.: s.n.
- NICOL, F., 2004. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, vol. 36, no. 7, pp. 628-637. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2004.01.016.
- NICOL, F. y HUMPHREYS, M., 2010. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 11-17. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2008.12.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.013>.
- NICOL, J.F. y HUMPHREYS, M.A., 1998. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Oxford Centre for Sustainable Development, school of Architecture, Oxford Brookes University, Gipsy Lane*, no. Oxford OX3 0BP, UK.
- NICOL, J.F. y HUMPHREYS, M.A., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 6, pp. 563-572. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- OGUC, 2005. *Ordenanza general de urbanismo y construcciones. Condiciones acústicas: art. 4.1.6*. 2005. Chile: s.n.
- OLESEN, B.W. y PARSONS, K.C., 2002. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and buildings*, vol. 34, no. 6, pp. 537-548.
- PERSILY, A.K., 1997. *Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide*. 1997. S.l.: s.n. ISBN 0001-2505.
- PRAKASH, P., 2005. *Effect of Indoor Environmental Quality on Occupant's Perception of Performance: A comparative study*. 2005. S.l.: University of Florida.
- QUESADA, F., 2014. la vivienda : Análisis comparativo de cinco métodos internacionales comparative analysis of five international methods. *Revista Hábitat Sustentable*, vol. V4, N1, no. ISSN: 0719-0700, pp. 56-67.
- QUESADA, F. y TREBILCOCK, M., 2015. *Desarrollo de un Método de Evaluación de la Calidad del Ambiente Interior para el Diseño de Viviendas Sustentables: Caso de estudio Región del Bio-Bio, Chile*. S.l.: Universidad del Bio-Bio.
- RITE, 2007. *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. RITE-2007*. 2007. España: s.n.
- SINGH, M.K., MAHAPATRA, S. y TELLER, J., 2015. Development of thermal comfort models for various climatic zones of North-East India. *Sustainable Cities and Society* [en línea], vol. 14, pp. 133-145. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2014.08.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.011>.
- TREBILCOCK, M., SOTO-MUÑOZ, J., YAÑEZ, M. y FIGUEROA-SAN MARTIN, R., 2017. The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. *Building and Environment* [en línea], vol. 114, pp. 455-469. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2016.12.036. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316305315>.
- UNE, 1991. *Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales. UNE 100011:1991*. 1991. España: s.n. UNE 100011:1991.
- UNE-EN, 2003. *Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo interiores. UNE-EN 12464-1*. 2003. S.l.: s.n.
- WONG, S.-K., WAI-CHUNG LAI, L., HO, D.C.-W., CHAU, K.-W., LO-KUEN LAM, C. y HUNG-FAI NG, C., 2009. Sick building syndrome and perceived indoor environmental quality: A survey of apartment buildings in Hong Kong. *Habitat International*, vol. 33, pp. 463-471. ISSN 01973975. DOI 10.1016/j.habitatint.2009.03.001.